

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра автоматики та управління в технічних системах

До захисту допущено:

Ззавідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Програмне забезпечення
інформаційно-комунікаційних систем»
спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення»
на тему: «Автоматизована система вирощування рослин, чутливих
до абіотичних факторів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІТ-61

Коцюрба Владислав Вікторович

Керівник:

асистент кафедри АУТС

Бердник Юрій Михайлович

Рецензент:

доцент кафедри АСОіУ, к.т.н., доцент

Жданова Олена Григорівна

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматизації та управління в технічних системах

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Освітньо-професійна програма «Програмне забезпечення інформаційно-комунікаційних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Коцюрбі Владиславу Вікторовичу

1. Тема проєкту «Автоматизована система вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів», керівник проєкту Бердник Юрій Михайлович, ас., затверджені наказом по університету від «07» травня 2020 р. №_1081-с_____
2. Термін подання студентом проєкту 09.06.2020
3. Вихідні дані до проєкту: автоматизоване керування абіотичними факторами: регулювання температури в діапазоні 15 - 30 °С, вологості ґрунту в діапазоні 0 - 100 %, світлового дня в діапазоні 0 - 24 год; робота від мережі 220 В всередині будівлі; зв'язок із веб-сервером через мережу інтернет; стійкість до можливих випадкових втрат живлення; візуальна та звукова сигналізація у разі критичних ситуацій в умовах недоступності мережі.
4. Зміст пояснювальної записки: проаналізувати існуючі рішення, поставити розгорнуті вимоги; розробити структурну та функціональну схеми; обрати компоненти системи; розробити електричну принципову схему; розробити математичну модель динаміки абіотичних факторів; розробити архітектуру та алгоритми роботи системи.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): структурна схема, функціональна схема, блок-схеми алгоритмів, схема електрична принципова.

6. Дата видачі завдання: 06.03.2020

Календарний план

з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд та аналіз існуючих рішень міні-теплиць та методів регулювання абіотичних факторів	13.04 – 19.04	
2	Розроблення структурної схеми автоматизованої системи вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів	20.04 – 21.04	
3	Розроблення функціональної схеми системи	22.04 – 25.04	
4	Вибір окремих компонентів системи	26.04 – 29.04	
5	Розроблення математичної моделі динаміки абіотичних факторів	30.04 – 03.05	
6	Розроблення схеми електричної принципової системи	04.05 – 07.05	
7	Розроблення алгоритмів керування системою	08.05 – 11.05	
8	Виготовлення макета системи	12.05 – 24.05	
9	Передзахист дипломного проєкту	25.05 – 26.05	
10	Доопрацювання пояснювальної записки	27.05 – 08.06	
11	Захист дипломного проєкту	15.06 – 19.06	

Студент

Владислав КОЦЮРБА

Керівник

Юрій БЕРДНИК

АНОТАЦІЯ

Коцюмба В.В. Автоматизована система вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2020.

Проект містить 63 с. тексту, 23 рисунки, 5 таблиць, посилання на 22 літературні джерела та 4 конструкторські документи.

Ключові слова: мікроконтролер, гроубокс, міні-теплиця, автоматизована система, абіотичний фактор.

Об'єктом розробки є процес вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів, а предметом – автоматизована система вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів.

Мета розробки – спростити процес вирощування рослин у побутових умовах.

У дипломному проекті розроблено керуючий пристрій, що враховує поточні значення абіотичних факторів всередині та назовні міні-теплиці та на основі них генерує керуючий вплив на виконавчі пристрої. Проведено аналіз ступеня впливу різних абіотичних факторів на ріст та розвиток рослин. Особливістю розробленої системи є досить простий інтерфейс для користувача та автоматизація більшості процесів догляду за рослиною.

Отримані результати можуть бути екстрапольовані на теплиці промислових масштабів, а також на інші подібні системи регулювання абіотичних факторів. Крім того, результати, отримані в даному бакалаврському дипломному проекті, можуть бути використані в межах діяльності гуртка «ES&IoT – Вбудовані системи та інтернет речей» кафедри АУТС.

SUMMARY

Kotsiurba V.V. Automated system for growing plants that are sensitive to abiotic factors. KPI them. Igor Sikorsky, Kyiv, 2020.

The project contains 63 pages of text, 23 figures, 5 tables, links to 22 literature sources and 4 design documents.

Keywords: microcontroller, growbox, mini-greenhouse, automated system, abiotic factor.

The object of development is the process of growing plants sensitive to abiotic factors, and the subject is an automated plant growing system.

The purpose of development is to simplify the process of growing plants at home.

In the diploma project a control device that takes into account the current readings of abiotic factors inside and outside the mini-greenhouse and on their basis generates a control action on the actuators was developed. The measure of influence of various abiotic factors on the growth and development of plants is analyzed. A feature of the developed system is a fairly simple user interface and automation of most plant care processes.

The obtained results can be extrapolated to greenhouses on an industrial scale, as well as to other similar systems for regulating abiotic factors. In addition, the results obtained in this bachelor's project can be used within the activities of the "ES&IoT - Embedded Systems and Internet of Things" club of ACTS department.

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. арк.	Номер екзем.	Примітка
1			<u>Документація загальна</u>			
2						
3		Пояснювальна записка	Заново розроблена			
4						
5	A4	IT61.100БАК.004 ПЗ	Пояснювальна записка	63		
6	A3	IT61.100БАК.004 Д1	Автоматизована система	1		
7			виращування рослин,			
8			чутливих до абіотичних			
9			факторів. Схема структурна			
10	A3	IT61.100БАК.004 Д2	Автоматизована система	1		
11			виращування рослин,			
12			чутливих до абіотичних			
13			факторів. Схема			
14			функціональна			
15	A3	IT61.100БАК.004 Д3	Автоматизована система	1		
16			виращування рослин,			
17			чутливих до абіотичних			
18			факторів. Блок-схеми			
19			алгоритмів			
20	A3	IT61.100БАК.004 ЭЗ	Автоматизована система	1		
21			виращування рослин,			
22			чутливих до абіотичних			
23			факторів. Схема електрична			
24			принципова			
25						
26						
27						
28						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	IT61.100БАК.004 ТП	
Розроб.		Коцюмба В.В.				
Перевір.		Бердник Ю.М.			<div>Автоматизована система виращування рослин, чутливих до абіотичних факторів. Відомість технічного проєкту</div> <div>Літ. Аркуш Аркушів</div> <div>Т 1 1</div> <div>КПІ ім. Ігоря Сікорського ФІОТ Група IT-61</div>	
Реценз.						
Н. Контр.						
Затв.						

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система
вирощування рослин, чутливих до абіотичних
факторів»**

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	8
1.1 Існуючі рішення тепличних установок.....	8
1.1.1 Промислові теплиці	9
1.1.2 Теплиці середнього розміру.....	10
1.1.3 Гроубокси.....	11
1.1.4 Огляд сучасних комерційних проєктів гроубоксів	12
1.1.5 Висновки	17
1.2 Методи та технології регулювання абіотичних факторів.....	17
1.2.1 Встановлення необхідного освітлення	17
1.2.2 Підтримування потрібної температури	19
1.2.3 Регулювання вологості	20
1.2.4 Підтримування якості повітря	21
1.3 Висновки до розділу	22
2 ПОСТАНОВКА РОЗГОРНУТИХ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН.....	23
2.1 Базові вимоги.....	23
2.2 Додаткові вимоги	23
2.3 Висновки до розділу	24
3 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ	25

					ІА61.100БАК.004 ПЗ						
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Коцюмба В.В.			Автоматизована система виращування рослин, чутливих до абіотичних факторів. Пояснювальна записка			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Бердник Ю.М.						Т		2	63
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського ФІОТ Група ІТ-61			
Н. Контр.											
Затв.											

3.1	Опис структурної схеми	25
3.2	Опис функціональної схеми.....	26
3.2.1	Блок зв'язку з веб-сервером.....	26
3.2.2	Підсистема логіки мікроконтролера	26
3.2.3	Підсистема освітлення.....	27
3.2.4	Підсистема регулювання поливу.....	28
3.2.5	Підсистема регулювання вологості.....	28
3.2.6	Підсистема регулювання температури	29
3.2.7	Підсистема індикації.....	29
3.3	Висновки до розділу	30
4	ВИБІР КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ	31
4.1	Підсистема освітлення.....	31
4.1.1	Датчик освітлення.....	31
4.1.2	Прилад освітлення	31
4.2	Підсистема регулювання поливу.....	32
4.2.1	Датчик рівня води в баку.....	32
4.2.2	Датчик вологості ґрунту.....	33
4.2.3	Клапан подачі рідини.....	33
4.3	Підсистема регулювання вологості.....	34
4.3.1	Датчик вологості та температури.....	34
4.3.2	Прилад вентиляції	35
4.4	Підсистема регулювання температури	36
4.4.1	Прилад регулювання температури.....	36
4.5	Загальні компоненти	37
4.5.1	Мікроконтролер	37

4.5.2	Блок зв'язку із сервером.....	38
4.5.3	Загальні радіoeлектронні елементи.....	39
4.6	Висновки до розділу	39
5	РОЗРОБЛЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	40
5.1	Керування силовими приладами	40
5.2	Комунікація з модулем зв'язку – ESP8266.....	41
5.3	Висновки до розділу	42
6	МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ АБІОТИЧНИХ ФАКТОРІВ	43
6.1	Висновки до розділу	47
7	РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА АЛГОРИТМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ	48
7.1	Архітектура програмного забезпечення мікроконтролера	48
7.2	Модель взаємодії між веб-сервером та блоком зв'язку	49
7.3	Опис алгоритмів роботи потоків	49
7.4	Функціонал, що надається кінцевому користувачу.....	51
7.5	Взаємодія між користувачем та міні-теплицею.....	52
7.5.1	Механізм взаємодії	52
7.5.2	Типи та структури повідомлень	54
7.6	Висновки до розділу	60
	ВИСНОВКИ.....	61
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

МОП транзистор – польовий транзистор, за допомогою якого можна керувати високим струмом використовуючи електричне поле.

ОСРЧ – операційна система реального часу.

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач сигналів.

АТ команди – промисловий стандарт методів комунікації та налаштування модему.

DDNS – dynamic domain name server – технологія оновлення інформації на DNS сервері в реальному часі автоматично.

IP адреса – ідентифікатор, що використовується для адресації пристроїв у мережах, що використовують протокол IP.

IoT – Internet of Things – концепція мереж пристроїв, що пов'язані між собою та не потребують взаємодії з людиною для передачі даних.

PWM – pulse width modulation – широтно-імпульсна модуляція – метод керування середнім значенням напруги за допомогою зміни тривалості високого імпульсу.

TCP/IP – мережева модель передачі цифрових даних.

TTL логіка – різновид цифрових мікросхем, побудованих на базі біполярних транзисторів та резисторів.

WiFi – сімейство бездротових мережевих технологій, що базуються на стандартах IEEE 802.11, які використовуються для локальних мереж та доступу до інтернету.

UART – периферія для асинхронної послідовної повнодуплексної передачі даних.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зазвичай під терміном «теплиця» розуміють споруду, накриту прозорою плівкою чи склом, що розташовується на ділянці біля приватного будинку. Теплиця надає власнику унікальну можливість, якої не було у людства протягом більшої частини існування – штучно створювати мікроклімат, що сприятиме росту рослин незалежно від поточної пори року. Теплиці в більшості випадків використовуються великими та малими підприємствами, і рідше людьми, що мають земельну ділянку й можуть собі дозволити встановлення такої конструкції. Проте останнім часом набирає популярності новий тип теплиць – міні-теплиці, що називаються гроубокси (англ. «growbox» – ящик для вирощування). Як можна здогадатись, це мініатюрний аналог великих теплиць, а отже таке рішення стає доступним вже більш широкому класу людей. Такі міні-теплиці можуть бути встановлені навіть у звичайній квартирі й надають можливість людині вирощувати різні рослини у невеликих об'ємах. Гроубокси часто бувають саморобними, проте на ринку існують також і готові рішення, що пропонують різний функціонал: деякі варіанти це лише каркас із світлоповертаючим тентом всередині та отворами для вентиляції, а деякі обладнані додатково власним освітленням та поливом. І хоча такі комерційні рішення полегшують життя людині, що хоче займатися вирощуванням рослин, вони зазвичай не надають того рівня автоматизації, що наразі присутня у теплицях промислового рівня, наприклад – автоматичне регулювання температури, освітлення, періодичний полив для автоматизації вирощування рослин. Отже, створення автоматизованої системи вирощування рослин є досить актуальною темою.

Предметом дослідження даного дипломного проекту є процес вирощування рослин. Об'єкт дослідження – автоматизована система вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів – має на меті скомбінувати якомога більше функціональних можливостей вже існуючих гроубоксів і надати користувачам просту можливість вирощувати широкий спектр рослин – від звичайних їстівних до екзотичних. В першу чергу система орієнтована на звичайних людей, що

					ІТ61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

бажають, наприклад, час від часу взимку куштувати свіжозірваний соковитий салат, або медово-солодку полуницю. Напрацювання з цієї роботи можна буде використати для продовження розробок у сфері автоматизації створення мікроклімату вже для теплиць промислового рівня та інших систем, де потрібне регулювання абіотичних факторів.

Для розробки системи перш за все потрібно визначити мету та принципи, на які потрібно опиратися у прийнятті рішень. Метою цієї системи є надання можливості звичайним людям вирощувати різні види рослин навіть за умов навколишнього середовища, що несприятливі для росту. При прийнятті рішень варто буде опиратися на наступні принципи:

- втілення системи у життя не повинно бути дорожчим за аналоги;
- система повинна бути простою у використанні – вона має явно спрощувати процес догляду рослин з боку користувача;
- система має володіти достатнім спектром можливостей щодо регулювання абіотичних факторів, щоб могли забезпечити ефективний ріст більшості видів рослин.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Існуючі рішення тепличних установок

Ринок автоматичних рішень у сфері тепличних установок вже не новий, і на ньому присутні пропозиції для різного роду споживачів. Для початку варто виділити класифікацію теплиць за їх розміром, що прямо корелює з цільовою аудиторією, що цікавиться цим питанням.

Тепличні установки можна поділити на звичні усім людям теплиці стандартного розміру, міні-теплиці та гроубокси.

Звичайні теплиці це промислові споруди, що призначені для розміщення в них рослин для пророщування чи/та вирощування. Такі теплиці зазвичай містять нагрівальний елемент для підтримання потрібного температурного режиму. Саме цей тип теплиць використовується для вирощування продукції у промислових масштабах.

Теплиці середнього розміру є більш компактним рішенням, також називаються парниками. Популярні серед класу садоводів-любителів через свою простоту та доступність. Зазвичай використовуються лише для створення та використання парникового ефекту.

Гроубокси досить сильно відрізняються від попередніх категорій, оскільки мають зазвичай невеликі розміри і через це є найбільш мобільним типом теплиць. Модифікації гроубоксів мають різне автоматичне оснащення, деякі виступають лише термоконтейнерами, а деякі пропонують широкий функціональний спектр.

Аналіз існуючих рішень має на меті, по-перше, дослідження ринку і ступеня задоволеності його потреб у різних типах тепличних установок, а, по-друге, отримання інформації про методи та технології, що вже використовуються у подібних системах для регулювання та автоматизації.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.1 Промислові теплиці

Промислові теплиці призначені для вирощування овочів, фруктів чи інших корисних рослин у значних кількостях. Такі теплиці здатні підтримувати необхідний мікроклімат, що призводить до достатньо високої врожайності. Урожай вирощений в теплиці можна збирати протягом цілого року. Важливою складовою тепличного господарства є комунікації, які підтримують мікроклімат всередині теплиці. В першу чергу це опалення теплиць, система поливу і освітлення внутрішнього простору. Опалення, що застосовується всередині теплиці, може бути водяним, газовим або інфрачервоним. При цьому, інфрачервоне опалення вважається найбільш просунутим для створення мікроклімату.

Для початку варто розглянути рішення, що вже успішно зарекомендували себе на промисловому ринку, адже найсуворіші критерії якості та ефективності завжди у тієї продукції, що має приносити гарантований дохід покупцю.

Спершу до уваги взято автоматизовану теплицю «під ключ» від компанії «ЕКО ТЕС» (рисунок 1.1) [1]. У запропонованому «фермерському» варіанті цієї теплиці наявні автоматичний підігрів, полив та освітлення згідно з заданою довжиною світлового дня. Варто зазначити, що освітлення відбувається лампами різного спектру, що забезпечує найкращі ілюмінаційні умови для різних етапів росту рослин. Дана теплиця містить блок керування безпосередньо в самій теплиці, а зв'язок між датчиками та пристроями регулювання здійснюється по провідним та локально мережевим каналам. Ціна такого рішення складас 1700 грн за метр квадратний.

Проте найбільшу цінність представляють саме технології та методи, що використовуються в даному рішенні.

Для обігрівання пропонуються наступні опції:

- піч на дровах;
- інфрачервоний обігрів;
- електричний нагрівач.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Приклад промислової автоматичної теплиці від «ЕКО ТЕС»

Засоби спеціального освітлення включають наступні:

- фітолампа;
- світлодіодне фітоосвітлення;
- лампа ДНаТ (Дугова Натрієва Трубчаста).

Для поливу використовується крапельна система, що дозволяє зволожувати сам ґрунт невеликими порціями.

1.1.2 Теплиці середнього розміру

Одним з найпростіших типів теплиць є парник (рисунок 1.2) [2]. Частіше за все будь-яка автоматизація відсутня, бо для досягнення результату використовується парниковий ефект за рахунок повністю закритого простору з допомогою спеціальної плівки. Парники не дають змоги вирощувати рослини у холодну пору року, оскільки не мають засобів підігріву повітря та ґрунту. Проте такий тип теплиць дуже зручно використовувати у теплу пору року для попереднього пророщування рослин перед висадкою у відкритий ґрунт.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.2 – Теплиця типу «парник» від Reswing

1.1.3 Гроубокси

Найбільший інтерес в даній роботі являють саме гроубокси, оскільки цільова автоматизована система регулювання має з ними найбільше спільних ознак.

Гроубокс [3] – це частково або повністю закрита система для вирощування рослин у закритому просторі. Система надає можливість регулювати абіотичні фактори[4], такі як температура, світло, вологість, а також контролювати подачу води та поживних речовин для більш ефективного росту. Гроубокси можуть бути гідропонними та ґрунтовими. Гідропонні гроубокси відрізняються від останніх наявністю механізмів для циркуляції води та поживних речовин, іноді – аерації води.

Деякі гроубокси включають вбудовану вентиляційну систему, фільтр для контролю запаху, кондиціонер для зниження робочих температур, а також генератор CO₂ для підвищення темпів росту рослини. Ці вдосконалені елементи дозволяють підтримувати потрібну температуру, світловий режим, рівень живлення та інші умови для вибраних рослин. Варіанти освітлення гроубоксів включають люмінесцентні лампи, що мають відносно обмежений рівень

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

світловіддачі; високоінтенсивні розрядні лампи, такі як натрієві та металгалогенові лампи; світлодіодні лампи, що стають все більш енергоефективними.

Також часто гроубокси містять світло- та тепловідбивне покриття всередині для більш ефективного використання світлових ресурсів та зберігання заданої температури.

1.1.4 Огляд сучасних комерційних проєктів гроубоксів

1.1.4.1 Гроубокс від GrowBoxUA [5] має досить широкий функціональний спектр (рисунок 1.3). Він обладнаний лампою ДНаТ на 250 Вт та 27000 Лм. У виробі вже вбудована система каналної вентиляції з вугільним фільтром, а також наявний вентилятор обдуву для циркуляції повітря всередині гроубокса. Щодо останнього, враховуючи висоту виробу – 120 см, і ширину 70 см, варто підмітити цю особливість і розглянути необхідність циркуляції повітря у системі, що розроблюється.



Рисунок 1.3 – Гроубокс стелс GrowBoxUA днат 250 Вт

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У даному гроубоксі увагу також приділено пожежній безпеці, оскільки в ньому працюють прилади від мережі 220 В – електрика захищена автоматом.

Ще один цікавий засіб покращення врожайності – сітка SCROG, що дозволяє більш раціонально розподіляти світлові ресурси на всі рівні листви рослин.

У цілому, цей гроубокс має достатньо великий функціонал, хоча можна виділити й недоліки – лампа ДНаТ, у порівнянні з фітолампами, має менш ефективний спектр для росту рослин, а також – ціна даного гроубокса є доволі високою: 7150 грн.

1.1.4.2 Наступний гроубокс - Hydro Shoot 60x60x160 від Secret Jardin (рисунок 1.4) [6] - виготовлений із щільної тканини та матеріалу, що повністю не пропускає світло. Наявний зйомний піддон для зручної заміни та чистки. Зсередини гроубокс покритий світловідбиваючою поверхнею з високим коефіцієнтом відбиття для запобігання поглинання цінного світлового ресурсу стінками виробу.



Рисунок 1.4 – Гроубокс Secret Jardin Hydro Shoot 60x60x160

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Гроубокс містить два вентиляційні отвори, проте будь-яка автоматизація відсутня. Даний виріб являє собою каркас для встановлення обладнання, що точно задовольняють потреби користувача. Проте ціна цього виробу – 2325 грн, що досить дорого у співвідношенні до функціональних можливостей.

1.1.4.3 Варто додати до огляду попереднього гроубоксу, що для подібних рішень існують різноманітні пропозиції для досягнення необхідного рівня автоматизованості процесу вирощування рослин. Прикладом системи автоматизації може бути контролер гроубокса iLogic VRX-003 (рисунок 1.5) [7].

Контролер може виконувати функцію підтримування та регулювання абіотичних факторів, таких як температура, вологість, освітленість, обмін повітря. Підключаючи різні датчики та пристрої, можна конфігурувати контролер на роботу з потрібним набором факторів.



Рисунок 1.5 – Контролер для гроубокса iLogic VRX-003

Варто відзначити, що ціна даного контролера є досить значною, враховуючи, що окрім нього для автоматизації потрібно додатково докуповувати датчики та виконавчі пристрої. Проте, з цього прикладу можна підчерпнути ідею модульності функцій, тобто можливість без особливих зусиль вилучати або додавати нові

параметри для регулювання безпосередньо додаючи потрібну матеріальну складову.

1.1.4.4 Ще одним варіантом гроубокса є так званий Фітотрон (рисунок 1.6) [8], розроблений для використання з дослідницькою або комерційною метою. Фітотрон є кліматичною камерою росту рослин з регулюванням температури, вологості, обміну повітря та освітленості. Даний агрегат має можливість не тільки підігрівати, але й охолоджувати повітря, тобто забезпечувати найбільш точне регулювання температури із всіх розглянутих рішень.



Рисунок 1.6 – Фітотрон ЛиА-3

Фітотрон обладнаний декількома світлодіодними панелями з можливістю вибіркового вмикання світлодіодів певної довжини хвилі. Також наявний крапельний полив та зрошення рослин. Вентиляція забезпечується вентиляторами та регульованим забором повітря з навколишнього середовища.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.4.5 Порівняння гроубоксів

Для порівняння усіх розглянутих варіантів та більш зручного їх співставлення, ключові особливості були виділені та представлені у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння можливостей розглянутих гроубоксів

Модель	Ключові функціональні можливості	Ціна
GrowBoxUA днат 250 Вт	Освітлення лампою ДНаТ, система вентиляції з вугільним фільтром, вентилятор для циркуляції всередині.	7150 грн
Secret Jardin Hydro Shoot 60x60x160	Світловідбивне покриття всередині, легкий каркас, зйомний піддон, відсутність автоматизації.	2325 грн
Контролер для гроубокса iLogix VRX- 003	Можливість контролювати потрібний набір абіотичних факторів (температура – підігрів та охолодження, вологість – зволоження та осушення, освітлення, обмін повітря).	4999 грн
Фітотрон ЛиА-3	Більше призначений для дослідницьких цілей, має повний функціональний спектр регулювання абіотичних факторів.	Не зазначено

Варто відмітити, що дана таблиця не ставить на меті визначити ліпший варіант серед усіх розглянутих або переваги та недоліки, а з'ясувати ключові аспекти, що мають бути враховані при розробці власної системи вирощування рослин.

1.1.5 Висновки

В ході аналізу існуючих рішень різних тепличних установок було з'ясовано, які функціональні можливості властиві різним типам, як співвідносяться набори таких можливостей із кінцевою ціною для користувача та виділено методи та технології, що вже використовуються у комерційних пропозиціях. На основі співставлення можливостей тепличних установок різних типів, можна краще зрозуміти, які функції повинні бути включені у розроблювану систему підтримання абіотичних факторів. У наступному підрозділі буде більше уваги приділено саме методам та технологіям, які дозволяють втілити потрібний функціонал.

1.2 Методи та технології регулювання абіотичних факторів

Отже, маючи перелік ключових функціональних можливостей, що наявні у систем, подібних до цільової розроблюваної системи, можна виокремити кожний абіотичний фактор та розглянути детально методи та технології його регулювання.

1.2.1 Встановлення необхідного освітлення

1.2.1.1 Найперше, що потрібно вирішити – чи буде освітлення встановлюватися лише для подовження існуючого світлового дня, чи для його повної заміни і керування. Від цього буде залежати принаймні тип обраних елементів освітлення. У першому випадку, конструкція має перебачати доступ прямих сонячних променів до рослини, тобто каркас має бути або прозорий, або повністю відкритий. Проте, регулювання температури ускладнюється або ж і зовсім унеможлиблюється у таких випадках. Прикладом періоду, коли подовження чи посилення світлового потоку дійсно мало б сенс, це довгі літні сонячні дні, за умов яких додаткове освітлення вмикалося б лише на певну невелику частину дня, але в періоди коротких світлових днів, або за умов хмарності, недоступності сонячних променів через непридатний напрям вікон квартири або їх повня

					ІТ61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відсутність та за інших ускладнюючих обставин. Звідси прийнято рішення про надання рослині повного світлового дня безпосередньо штучним освітленням, що додає універсальності у використанні розроблюваної системи.

1.2.1.2 Забезпечуючи повний світловий день, потрібно взяти до уваги спектр освітлення, оскільки рослина не буде піддаватися впливу денного світла. Також, для різних рослин та фаз росту властиві різні співвідношення дня та ночі.

Як зазначено в роботі [9], рослини поглинають лише частину спектру світла, що надходить від лампи. Для прикладу було розглянуто спектр лампи типу ДНаТ (HPS). Зіставлення інтенсивності спектру її випромінювання зі спектром випромінювання Сонця та спектром, що потребує рослина для фотосинтезу (рисунок 1.7) дало зрозуміти, що частина енергії, яку споживає лампа, ніяк не засвоюється рослиною.

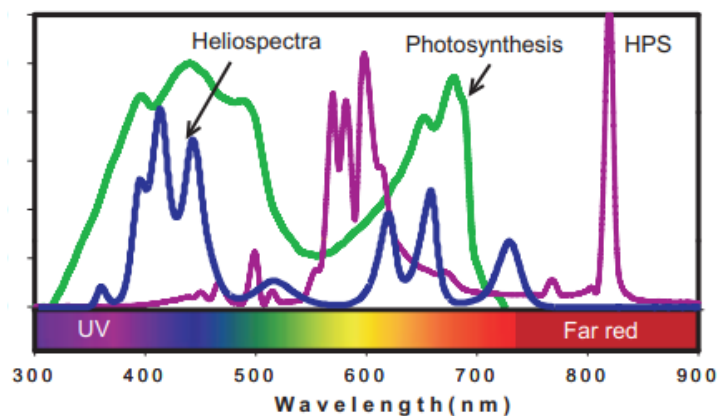


Рисунок 1.7 – Зіставлення спектрів ДНаТ лампи, сонячного спектру та спектру необхідного рослинам[9]

З цього можна зробити висновок, що потрібно обрати такий тип лампи або декілька типів, що буде найбільш точно корелювати зі спектром, що потребує рослина для найкращого розвитку. Варто зазначити, що випромінювання із синього спектру сприяє під час вегетативного періоду розвитку листя та росту рослини, а світло з червоного спектру має найбільший вплив на цвітіння та розвиток кореневої системи [10].

Проте з рисунка 1.7 також видно, що й інші складові спектру потрібні рослині, а отже обраний варіант повинен акцентуватися на червоному та синьому спектрі, й при цьому у відносно меншій частині віддавати також світло з проміжного спектру.

Проаналізувавши відповідні джерела [10,11,12], було вирішено, що найкраще для розроблюваної системи буде використати або повноспектральну фітоламбу, тобто лампу з акцентом на синьому та червоному випроміненні, або комбінацію з енергозберігаючих люмінесцентних ламп теплого та нейтрального кольорів. Вибір конкретної моделі буде здійснено в розділі про вибір компонентів.

Також потрібно звернути увагу на покриття гроубоксу всередині – для кращої ефективності воно повинне бути якомога більш світловідбивним, щоб спрямовувати якомога більшу частину світла саме на рослину. Для таких цілей у комерційних та саморобних гроубоксах зазвичай використовується матеріал майлар або пінофол.

1.2.2 Підтримування потрібної температури

Більшість рослин відносно стійкі до змін температури [13]. У загальному, листяні рослини найкраще себе почувають при 22-27 °C вдень та 16-20 °C вночі. Понижені температури вночі допомагають рослині відновитися від втрат вологи, наситити колір суцвіть та продовжити їх існування. При занадто високих чи низьких температурах у рослини може відбутися стрес, пригнічення росту або опадання листя. Правило, що застовується на практиці, це підтримувати нічну температуру на 5-8 °C нижче від денної.

Підтримування температури в зазначених межах є досить непростою задачею, оскільки потребує наявності як нагрівального, так і охолоджувального елементів у системі. Особливо суттєво може вплинути на складність та ціну виробу елемент охолодження, оскільки для цього у гроубоксах та невеликих теплицях рекомендується використовувати портативні кондиціонери. З іншого боку, нагрівання повітря всередині не є настільки затратним, оскільки існують досить

					ІТ61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

компактні та недорогі рішення для цього – інфрачервона нагрівальна плівка (рисунок 1.8, а), нагрівальний шнур (рисунок 1.8, б), що використовуються для систем теплої підлоги, або елемент Пельтьє (рисунок 1.8, в).



Рисунок 1.8 – Варіанти нагрівальних елементів

Також, одним з методів регулювання температури є використання вентиляції, наприклад, для відводу тепла з теплиці, у той час як у кімнаті температура менша, але коли зовнішня температура приближується до показань всередині гроубоксу, цей метод втрачає свою ефективність. Варто зазначити, що розглянуті вище гроубокси не мають можливостей регулювання температури.

1.2.3 Регулювання вологості

1.2.3.1 Вологість ґрунту

Регулювання вологості ґрунту звичайно реалізується за допомогою датчику вологості ґрунту та крапельного поливу. Підсистема повинна мати запас рідини для поливу та електронно-механічну базу для його керування. Більш детально елементи підсистеми зволоження ґрунту будуть розглянуті у розділі про вибір компонентів системи.

1.2.3.2 Вологість повітря

Вологість для більшості рослин є достатньою при рівні 40-80% [14]. При цьому, більш сприятливими для кожного етапу розвитку рослини є певний рівень вологості. Більш того, різні рослини по-різному виносять недо зволожене повітря, це залежить від їх приналежності їх до кліматичної зони.

Регулювання вологості, так само як і температури, є непростю задачею, і зазвичай такі системи контролю розміщуються у гроубоксах великого розміру. Для підвищення та пониження вологості використовуються електричні зволожувачі та осушувачі повітря, але це є досить дорогими рішеннями для розроблюваної системи.

Для підвищення рівня вологості можна використовувати ручні методи, наприклад, наповнювати ємність водою та поміщати всередину гроубоксу для підвищення вологості. Також, базуючись на цьому, можна розробити автоматичний зволожувач, що буде наповнювати деяку тару необхідною кількістю рідини, випаровування якої призвело б до підняття вологості до потрібного рівня.

Варто додати, що рослина сама випаровує деяку кількість рідини з листя, і при наявності декількох рослин, або при розлогій листві, додаткове зволоження й зовсім може бути непотрібним. Винятком є вегетативна фаза росту, проте в цей період частіше за все ефективним рішенням є створення парнику над рослиною за допомогою кришки, що не випускає пар і тримає вологість на високому рівні виключно у невеликому об'ємі повітря.

Альтернативний метод зменшення рівня вологості – регулювати інтенсивність вентиляції, що за умови меншої вологості у оточуючому середовищі є досить ефективним рішенням.

1.2.4 Підтримування якості повітря

Вентиляція є досить важливою складовою подібної системи, оскільки завдяки обміну повітря забезпечується приплив вуглекислого газу, регулювання

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

вологості, видалення та запобігання накопиченню запахів та пилку, а також, у випадку використання ламп із суттєвою тепловіддачею, регулювання температурного режиму [15]. Система вентиляції проектується на підставі об'єму внутрішнього простору: потрібно розрахувати потужність вентиляції так, щоб повітря всередині повністю оновлювалося за 3-10 хвилин. З таким підходом запахи за межами конструкції не відчуються. Для систем вентиляції у гроубоксах часто використовують каналні вентилятори у парі із вугільним фільтром. Отвори для вхідного потоку повітря потрібно робити ближче до низу, а вихідного – зверху, щоб забезпечити кращий рівень циркуляції.

1.3 Висновки до розділу

Отже, в результаті аналізу існуючих пропозицій на ринку теплиць було сформовано розуміння необхідних компонентів, якими має володіти розроблювана система, і визначено, які недоліки мають існуючі рішення. Завдяки проведеному огляду вдалося виокремити технології та методи, які можуть бути використані для регулювання абіотичних факторів у розроблюваній системі, а також визначити відносну ступінь впливу кожного з факторів на вирощування рослин.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

2 ПОСТАНОВКА РОЗГОРНУТИХ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН

2.1 Базові вимоги

Виходячи з аналізу існуючих рішень на ринку міні-теплиць, або ж гроубоксів, можна сформулювати ключові вимоги до розроблюваної системи задля забезпечення наявності в ній, як мінімум, ключових функціональних можливостей вже запропонованих комерційних варіантів, і включити додаткові можливості для створення в певній мірі унікального пристрою.

Ключовими вимогами до системи є автоматизація наступних задач:

- підтримування режиму освітлення: періодичні вмикання та вимикання освітлення у задані моменти часу;
- підтримування температурного режиму: підігрів повітря відповідно до датчика температури;
- своєчасний полив із урахуванням рівня вологості ґрунту;
- система вентиляції: регулювання інтенсивності провітрювання в залежності від потреби впливу на мікроклімат всередині;
- підтримування вологості повітря: дозволоження відповідно до показань датчику вологості;

2.2 Додаткові вимоги

Перш ніж визначити додаткові функціональні вимоги до системи, потрібно навести більш розгорнутий опис деяких з них. По-перше, розроблювана система повинна інтегруватися з системою налаштування та моніторингу, що надає кінцевому користувачу зручний спосіб конфігурації та моніторингу розроблюваної системи, у вигляді додатку з користувацьким інтерфейсом. Розроблювана система має не тільки надавати можливість встановлювати певні значення для абіотичних факторів, а й дозволити встановлювати «профілі» для різних типів рослин.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Профіль – це набір конфігурацій, що включають в себе бажані показники абіотичних факторів у задані моменти часу. Для початку можна припустити, що профілі створюються виключно користувачем. Користувач може вказати, наприклад, яку кількість днів має бути підвищена вологість або зменшений світловий день, або як, наприклад, протягом дня, має змінюватися вологість ґрунту або інших показників. Тобто, з цього виходить, що профіль – це централізований спосіб задати усі показники, що можуть бути регульовані міні-теплицею.

Варто додати, що розроблювана система інтегрується з вище описаним додатком за допомогою веб-серверу, тобто має бути реалізована можливість з'єднання з ним.

Враховуючи вище сказане, можна перерахувати додаткові вимоги до системи:

- інтеграція з веб-сервером для налаштування та моніторингу розроблюваної системи;
- сповіщення веб-сервера про критичні ситуації;
- надання веб-серверу інформації про поточні показники абіотичних факторів;
- надання веб-серверу статистичних даних про абіотичні фактори;
- надання веб-серверу інтерфейсу для встановлення профілю та інших конфігурацій.
- встановлення двох видів поливу – для можливості регулювати періодичність води та поживного розчину незалежно.

2.3 Висновки до розділу

В даному розділі було розкрито функціональні вимоги до розроблюваної системи: перелічено основні функції, що мають обов'язковий характер, щоб кінцева міні-теплиця як мінімум не поступалася існуючим пропозиціям, а також визначено додаткові вимоги, що зроблять виріб більш унікальним та привабливим.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

3 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

3.1 Опис структурної схеми

На кресленику IT61.100БАК.004 Д1 показана структурна схема системи вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів. Вона складається з наступних компонентів:

- блок зв'язку з веб-сервером, що забезпечує передачу статистичних даних та отримання налаштувань з веб-сервера;
- підсистема логіки мікроконтролера, що реалізовує основну логіку керування усіма пристроями;
- підсистема регулювання освітлення, відповідальна за надання мікроконтролеру можливості керувати освітленням та отримувати інформацію про рівень освітленості;
- підсистема регулювання поливу, яка надає мікроконтролеру інтерфейс для керування періодичним поливом, вибору джерела для поливу, зчитування показань рівнів датчиків рідини у баках;
- підсистема регулювання вологості, що надає мікроконтролеру інтерфейс для керування інтенсивністю вентиляції та механізмом підвищення рівня вологості повітря методом випаровування необхідної кількості рідини, а також доступ до показань датчиків вологості;
- підсистема регулювання температури, яка дозволяє мікроконтролеру зменшувати чи збільшувати температуру повітря в теплиці, зчитувати поточні показання;
- підсистема індикації, призначена для виводу інформації про поточний стан системи у візуальному чи інших форматах.

Розроблювана система вирощування рослин зв'язується з веб-сервером, що є частиною системи моніторингу та налаштування, для отримання налаштувань, вказаних користувачем, а також для відправки статистичних даних, метаданих та

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

іншої інформації. Користувач не має доступу до налаштування теплиці безпосередньо, а лише з допомогою веб-серверу, що виконує роль арбітра.

3.2 Опис функціональної схеми

На кресленику IT61.100БАК.004 Д2 показано функціональну схему системи вирощування рослин. Склад підсистем розкритий більш детально й описаний нижче.

3.2.1 Блок зв'язку з веб-сервером

Як вже говорилося, призначення даного блока в тому, щоб надавати доступ мікроконтролеру до веб-серверу. Даний блок повинен працювати із стеком мережових протоколів, наприклад TCP/IP, щоб мати можливість відправляти та отримувати дані з мережі інтернет. Блок зв'язку забезпечує інкапсуляцію від мікроконтролера операцій, пов'язаних із підключенням до точки доступу, до інтернету, встановленням з'єднання, репортування помилок. Тобто, мікроконтролер повинен включати в свою логіку мінімум знань про те, як насправді реалізується зв'язок із веб-сервером.

3.2.2 Підсистема логіки мікроконтролера

Підсистема, що реалізує алгоритми аналізу та керування усіма іншими підсистемами. Як видно із функціональної схеми, система достується до даних, отриманих блоком зв'язку з веб-сервером, за допомогою блоку кодування/декодування. Для обміну різномірною інформацією між мікроконтролером та веб-сервером передбачається створення спеціального формату повідомлень, або ж пакетів. Кожне таке повідомлення має обов'язково вказувати тип повідомлення, щоб блок кодування/декодування міг коректним

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

чином інтерпретувати отримані бінарні дані та навпаки, кодувати певні структури даних зрозумілим для веб-серверу способом.

Після декодування блок звертається до блоку прийняття рішень, який містить інструкції для виконання в залежності від кожного типу повідомлення. Наприклад, це може бути повідомлення про встановлення нової конфігурації, або повідомлення про запит збережених на пристрої статистичних даних.

Мікроконтролер має у своєму розпорядженні енергонезалежну пам'ять, в якій зберігає поточну конфігурацію, статистичні дані – покази з різних датчиків за різний час, та різну службову інформацію, наприклад дані логування. Для доступу до цієї пам'яті використовується блок доступу до даних. Блок збору та збереження статистики слугує для формування потрібних структур, додання до них метаданих, наприклад, поточного часу. Також він надає інтерфейс для отримання необхідних даних у разі запиту з серверу.

Блоки керування приладами та зчитування показань призначені для того, щоб блок прийняття рішень мав додатковий рівень абстракції доступу до датчиків та приладів. Призначення цього рівня в тому, щоб віддавати інтерфейс для зчитування показань абіотичних факторів та подання впливу для їх зміни без інформації про те, який саме датчик чи прилад буде використовуватися для цього. Це дозволяє, в разі необхідності заміни моделі якогось приладу, переписати лише частину коду в блоці зчитування та/або в блоці керування замість зміни коду у блоці прийняття рішень, якби він звертався до кожного датчика напряму.

Рівень інтерфейсів до зовнішніх датчиків та приладів – це низькорівневий доступ до шин даних або до фізичних виводів мікроконтролера, тобто цей рівень є рівнем драйверів.

3.2.3 Підсистема освітлення

Дана підсистема складається з самого приладу або приладів освітлення, який вмикається та вимикається з допомогою електричного реле. Так як освітлення має надзвичайно значний вплив на рослини, його відсутність може мати згубний вплив,

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

і тому підсистему також обладнано датчиком освітленості, що надає можливість мікроконтролеру перевірити стан освітлення після вмикання/вимикання. Датчик освітленості не призначений для визначення рівня освітленості у певних одиницях вимірювання, а лише для того, щоб своєчасно сповістити користувача у випадку виникнення критичної несправності.

3.2.4 Підсистема регулювання поливу

Ця підсистема відповідальна за роботу з поливом рослин. Передбачається, що підсистема може мати два баки з розчином для поливу – один для звичайної води, другий для спеціального поживного розчину, який потрібно давати рослині з іншою періодичністю, ніж звичайний полив. Кожний бак із рідиною містить датчик рівня наявної рідини, тому у разі закінчення користувач може отримати повідомлення про таку подію. Також частиною підсистеми є датчик вологості ґрунту.

Виконавчими пристроями підсистеми є клапани подачі рідин для поливу, що контролюються за допомогою електричних реле. Передбачається, що баки з рідинами знаходяться вище, ніж місце поливу, і тому для поливу достатньою лише відкрити клапан, і потреба в насосах відпадає.

3.2.5 Підсистема регулювання вологості

Підтримування заданого рівня вологості є досить непростим завданням, якщо не використовувати готові комерційні рішення. Оскільки міні-теплиця є досить невеликою за розмірами, і повинна мати адекватну ціну, то прилади по зменшенню вологості не були включені у розроблювану систему. Замість цього, зволоження може бути реалізовано з допомогою зволоження деякого матеріалу зі значною площею та ступенем поглинання рідини, що приведе до випаровування та збільшення вологості. Для цього передбачено окремий клапан для подачі рідини та реле для керування ним.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Другим способом зміни рівня вологості є зміна інтенсивності вентиляції, що стає можливим при використанні підсилювача потужності для підсилення керуючого сигналу мікроконтролера, проте даний спосіб має суттєвий недолік – він працює лише тоді, коли вологість зовнішнього середовища краще задовольняє потреби встановленого рівня. В іншому разі вентиляція повинна працювати на мінімальному рівні, щоб не допускати ще більшого відхилення від заданого значення.

Також система має датчики вологості повітря – зовнішній та внутрішній – для надання достатньої інформації блоку прийняття рішень.

3.2.6 Підсистема регулювання температури

Дана підсистема відстежує покази температури назовні і всередині, так само як і попередньо розглянута підсистема. Це дозволяє вмикати досить енерговитратний прилад охолодження/підігріву в тих випадках, коли неможливо привести температуру до заданого значення використовуючи тільки зміну інтенсивності вентиляції. Прилад регулювання температури повинен включати в себе можливості як нагрівання, так і охолодження, оскільки, як це було з'ясовано у попередньому розділі, рослинам комфортно, коли вночі температура на 5-8 °C нижче від денної.

3.2.7 Підсистема індикації

Оскільки розроблювана система може іноді втрачати доступ до інтернету, потрібно додати можливість сповіщення про надзвичайні ситуації також і наочним способом, який не потребує мережі. Для цього було обрано два світлодіоди – червоного та зеленого кольорів – для сповіщення про різні стани системи, а також звуковий пристрій, або ж зумер, що міг би привернути увагу, якщо користувач знаходиться на відстані і не має прямого візуального контакту з міні-теплицею.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсистема індикації є лише допоміжною, основним каналом сповіщень є користувацький мобільний застосунок.

3.3 Висновки до розділу

Отже, у даному розділі було детально розкрито зміст структурної та функціональної схем розроблюваної системи. Побудова структурної схеми дозволила створити первинне високорівневе представлення про загальну структуру системи та про її зв'язки із зовнішніми системами, а також дозволила виділити ключові підсистеми, що мають фігурувати у подальшій декомпозиції. Структурна схема далі була більш детально розкрита за допомогою функціональної схеми системи, де вже у більш детальному описі розкривається зміст кожної підсистеми. Саме функціональна схема надає уявлення про компоненти, з яких буде в результаті складатися розроблювана система.

Хоч функціональна схема на доволі низькому рівні демонструє елементи системи та їх зв'язки, наразі неможливо побудувати макет, оскільки немає інформації про те, які саме конкретні елементи потрібні для його створення, і на чому потрібно базувати вибір таких елементів. Для відображення дійсного вигляду системи необхідно розробити електричну принципову схему, але перед цим варто оцінити та обрати конкретні рішення замість логічних блоків функціональної схеми, що й виконано у наступних розділах.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

4.1 Підсистема освітлення

4.1.1 Датчик освітлення

Для того, щоб була можливість перевіряти стан освітлення всередині міні-теплиці, можна використати найпростіший варіант – фоторезистор GL5528 5 мм (рисунок 4.1). Це аналоговий радіоелемент, що змінює свій електричний опір в залежності від навколишнього освітлення. Для цілей, що поставлені перед цим функціональним блоком у системі, цього достатньо.



Рисунок 4.1 – Фоторезистор GL5528 5 мм

4.1.2 Прилад освітлення

В результаті аналізу існуючих рішень було зроблено висновок, що освітлення є одним з найбільш важливих абіотичних факторів для майже всіх рослин, тому вибору конкретного освітлення треба уділити достатньо уваги. Як вже було зазначено, найкраще буде використати комбінацію теплого та холодного спектрів з можливістю керувати який спектр подавати у певні фази росту рослин. Найбільш очевидним є рішення по встановленню двох ламп з різною кольоровою температурою світла. Вибір потужності, необхідного для освітлення, можна здійснити використовуючи таблицю 4.1 з [12]:

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Залежність потужності лампи від її типу та площі міні-теплиці

Площа	Тип лампи		
	LED	Натрієва	Енергозберігаюча
30x30 см (0,09 м ²)	50 Вт	70 Вт	100 Вт
40x40 см (0,16 м ²)	70 Вт	100 Вт	150 Вт
50x50 см (0,25 м ²)	115 Вт	150 Вт	250 Вт
60x60 см (0,36 м ²)	180 Вт	250 Вт	400 Вт
90x90 см (0,8 м ²)	360 Вт	400 Вт	-----
110x110 см (1,2 м ²)	530 Вт	600 Вт	-----
130x130 см (1,7 м ²)	750 Вт	1000 Вт	-----

Як видно з таблиці, найбільш ефективними є LED лампи. Приблизна площа міні-теплиці – 0.2 м², тому потрібно підібрати лампи так, щоб їх потужність була між 70 та 115 Вт. Для цього обрано світлодіодна лампи спектру 2700 К та 5000 К.

4.2 Підсистема регулювання поливу

4.2.1 Датчик рівня води в баку

Для оптимізації витрат датчик рівня води може виконувати звичайна пара контактів, що занурені на дно бака. Для того, щоб дізнатися про наявність води у баку, мікроконтролер подає високий рівень на один контакт та зчитує рівень напруги на іншому. При наявності води буде наявний струм між парою контактів, а отже це сигналізуватиме про те, що рідина щонайменше знаходиться на висоті встановлення пари контактів. Для підвищення інформативності, можна встановлювати більше пар контактів на різних висотах баку, що будуть відповідати за певні рівні води.

4.2.2 Датчик вологості ґрунту

Для вимірювання вологості ґрунту існують резистивні та ємнісні датчики вологості. Останні мають стійкість до корозії і тому довше не виходять з ладу. Для розроблюваної системи було обрано саме такий датчик, а конкретно – ємнісний датчик вологості ґрунту v1.2 (рисунок 4.2). Він потребує живлення напругою від 3,3 В до 5 В, а вихідний аналоговий сигнал видає напругу в діапазоні 0..3 В.



Рисунок 4.2 – Ємнісний датчик вологості ґрунту v1.2

4.2.3 Клапан подачі рідини

Для подачі рідини без використання насосів було вирішено створювати потік води з допомогою перепаду тиску, що може бути створений звичайним розміщенням баку з рідиною вище рівня поливу. Для керування подачею рідини використовуються універсальний електромагнітний водяний клапан для пральних машин (рисунок 4.3), що забезпечує подачу рідини по двом незалежним каналам – для води та поживних речовин. Клапан дозволяє з'єднати два потоки рідин у один, тим самим дозволяючи здійснювати полив використовуючи для цього лише один шланг. Клапан нормально закритий, тобто при несподіваному відключенні електроживлення полив буде припинено і нічого не затопить.

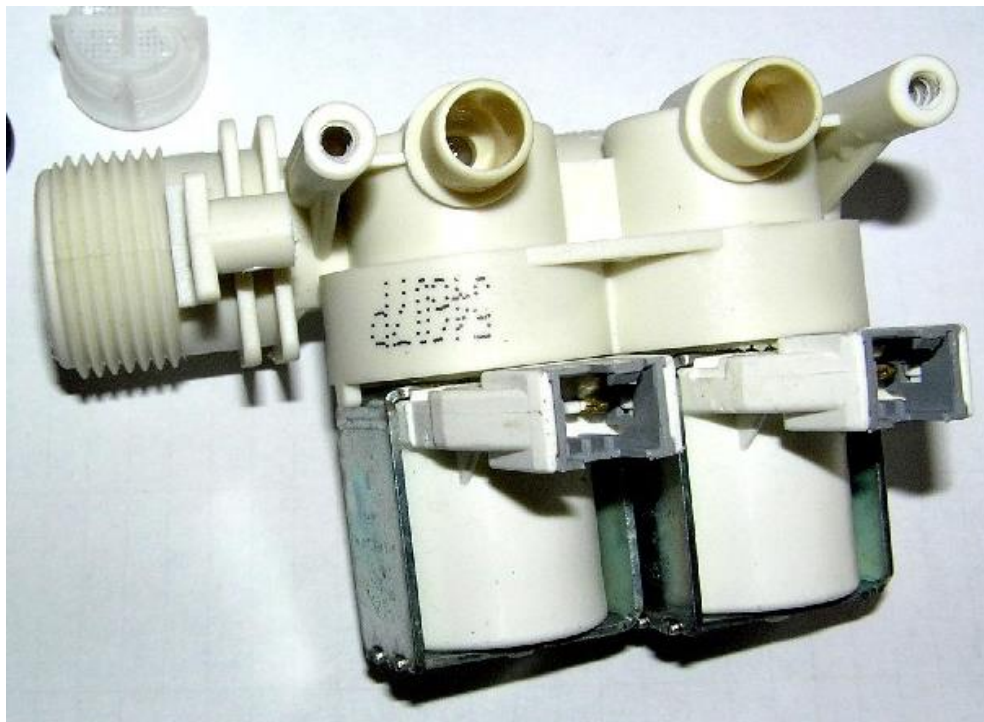


Рисунок 4.3 – Подвійний електромагнітний клапан подачі води

4.3 Підсистема регулювання вологості

4.3.1 Датчик вологості та температури

Для функціонування системи потрібні два датчики температури та два датчики вологості повітря, щоб вимірювати показання всередині міні-теплиці та назовні. Можна використовувати датчики, що надають одразу покази і вологості, і температури. Кандидатами на цю роль є датчики DHT11 (рисунок 4.4, а) та DHT22 (рисунок 4.4, б). DHT11 має менший діапазон вимірюваних значень – температура в межах 0 - 50 °С із точністю ± 2 °С, а вологість в межах 20 - 80 % із точністю ± 5 %. DHT22 має кращі показники: температура в межах -40 - 50°С із точністю ± 0.5 °С, а вологість в межах 0 – 100 % із точністю $\pm 2-5$ %. Проте ціна останнього майже у 4 рази вища, тому для оптимізації витрат можна встановити DHT11 для зовнішніх замірів, а DHT22 для внутрішніх.

Датчик варто закріпити приблизно посередині висоти теплиці, оскільки температура повітря збільшується знизу до верху.

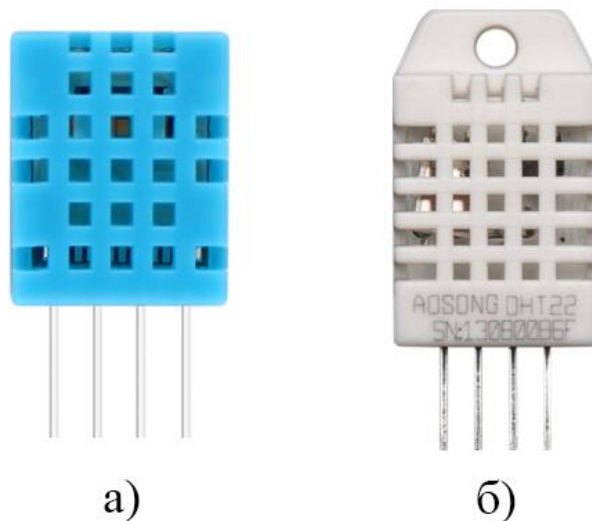


Рисунок 4.4 – Датчики температури та вологості DHT11 (а) та DHT22 (б)

4.3.2 Прилад вентиляції

Для розрахунку потужності вентилятора потрібно визначити об'єм міні-теплиці. Для повного задоволення потреб вентиляювання із запасом, вентилятор повинен мати змогу прогнати 120 об'ємів міні-теплиці за годину. За попередньою оцінкою, об'єм теплиці не перевищує 0.2 м^3 , тому було обрано кулер Frime FGF120 molex 120 мм (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Кулер Frime FGF120 molex 120 мм

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Він має ширину 12 см і потужність 47 м³/год, чого точно достатньо для вентилявання теплиці.

Варто зазначити, що запас може стати у нагоді у разі потреби інтенсивного регулювання вологості чи температури.

4.4 Підсистема регулювання температури

4.4.1 Прилад регулювання температури

Для регулювання температури в обох напрямках було обрано термоелемент Пельтьє. Принцип його роботи наступний: при подачі напруги одна з пластин нагрівається, а інша охолоджується, тобто виконується перерозподіл енергії.

Оскільки розроблювана система має постійно здійснювати моніторинг температури, і в разі відхилення повертати потрібне значення, то вірогідність випадку різкого значного відхилення доволі мала, а отже можна здешевити систему і не встановлювати строгих обмежень на час зміни температури. В результаті було обрано елемент Пельтьє TEC1-12706 60W (рисунок 4.6).

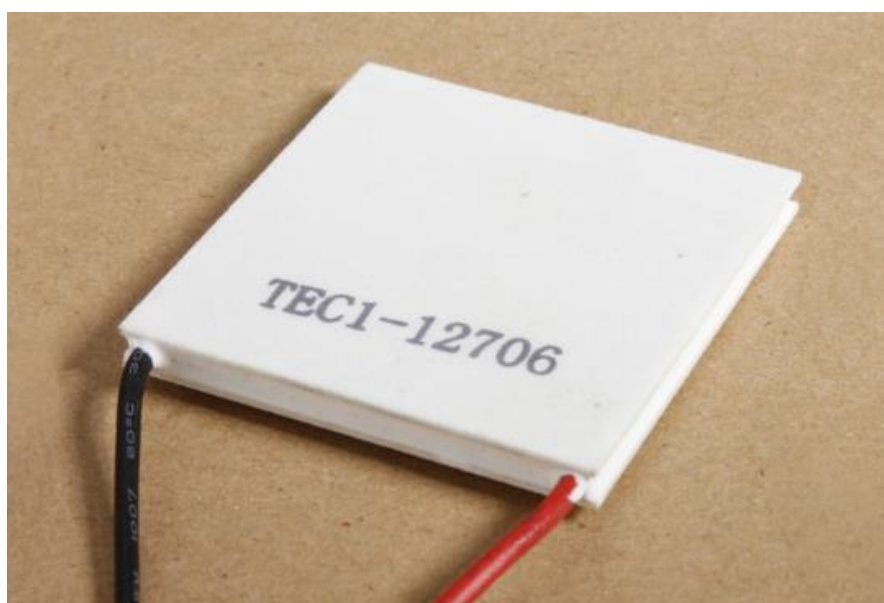


Рисунок 4.6 – Елемент Пельтьє TEC1-12706 60W

4.5 Загальні компоненти

4.5.1 Мікроконтролер

Центральним керуючим пристроєм було обрано мікроконтролер STM32F103C8T6 із серії ARM Cortex M3. Його характеристики наступні:

- частота мікроконтролера - до 72 МГц;
- ядро – 32-бітний Cortex M3 STM32F103C8T6;
- апаратне ділення та множення в один цикл;
- 7 таймерів, до 9 інтерфейсів комунікації (I2C, SPI, UART, USB, CAN);
- пам'ять програм – 64 Кб;
- пам'ять оперативна – 20 Кб;
- живлення - 3.3 В.

Схема виводів контролера показана на рисунку 4.7. Наявні 32 піни загального призначення, що надає широкі можливості у взаємодії з датчиками та виконавчими пристроями.

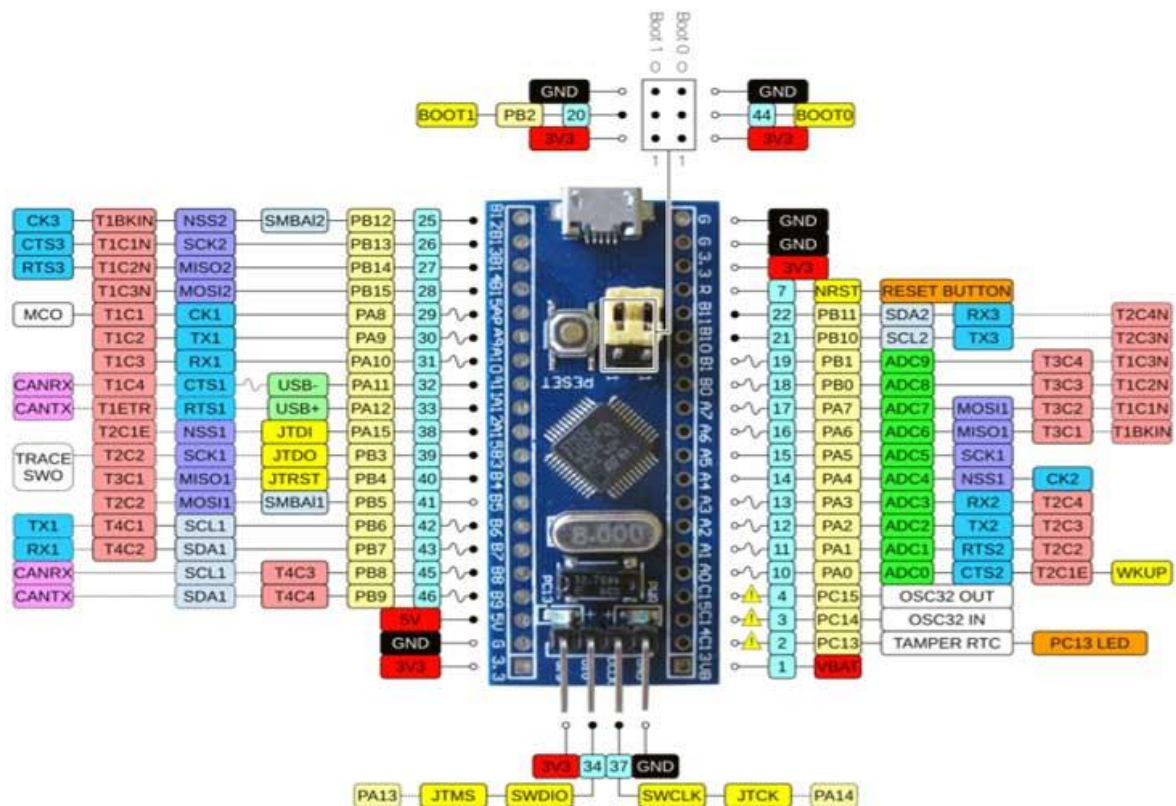


Рисунок 4.7 – Опис виводів мікроконтролера STM32F103C8T6[16]

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

4.5.2 Блок зв'язку із сервером

Для зв'язку із сервером через інтернет було обрано модуль з мікроконтролером ESP8266 ESP-01 (рисунок 4.8). Він має антену друкованого типу, а також розпаяну мікросхему флеш-пам'яті, що дозволяє використовувати мікроконтролер ESP8266 як окремий незалежний компонент.

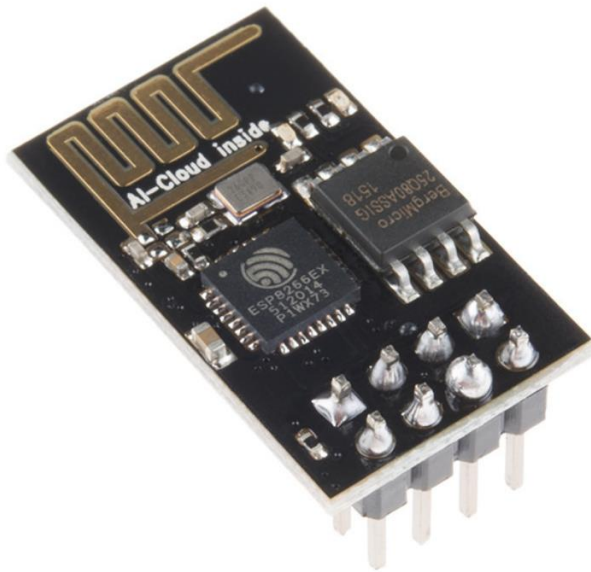


Рисунок 4.8 – WiFi модуль на базі мікроконтролера ESP8266 ESP-01

Контролер надає можливості підключатися до WiFi мережі та здійснювати прості TCP/IP з'єднання використовуючи AT команди. Обмін даними з керуючим мікроконтролером можливо здійснювати через послідовний інтерфейс. Дане рішення є надзвичайно популярним серед розробників через свою простоту та ціну, і вже чудово себе зарекомендувало на ринку. Контролер може працювати як в режимі точки доступу, так і в режимі клієнта WiFi мережі.

Одною з переваг цього мікроконтролера є можливість збірки власного програмного забезпечення для нього шляхом модифікації існуючого еталонного варіанту. Таким чином, враховуючи наявність двох виводів загального призначення, контролер може виконувати роль самостійного керуючого пристрою у невеликих проєктах.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5.3 Загальні радіоелектронні елементи

Для керування силовими приладами було обрано дві опції: електромагнітне реле Songle SRD-05VDC-SL-C та МОП транзистор. Перший варіант кращий для приладів, що не потребують частого перемикання стану та працюють при високій напрузі, а другий варіант розрахований на менші потужності, проте дозволена частота переключень є досить високою, а ціна трохи нижче, ніж у реле.

Так як для системи критичним є знання про поточні дату та час, потрібно використати незалежний годинник. Для цього підійде годинник реального часу DS3231, що комунікує з мікроконтролером через протокол I2C.

4.6 Висновки до розділу

Розділ був присвячений проміжному етапу між готовою функціональною схемою та початком розроблення електричної принципової. Саме зроблений вибір окремих компонентів дозволить далі врахувати такі особливості, як логічні рівні, кількість виводів, протоколи передачі даних, що використовуються елементами, і відобразити це все на електричній схемі, що стане найдетальнішим структурним описом розроблюваної системи.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

5 РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

На кресленику IT61.100БАК.004 Э1 показана електрична принципова схема системи вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів.

На схемі продемонстровано підключення мікроконтролеру – основного керуючого пристрою – до периферійних пристроїв та датчиків. Розглянемо деякі особливості, що враховані при побудові схеми.

5.1 Керування силовими приладами

Певні прилади, а саме: прилад освітлення, модуль клапана подачі води та модуль клапана подачі розчину, керуються за допомогою електромагнітного реле, оскільки їх напруга живлення складає 220 В, а реле надає можливість керувати високим струмом за допомогою відносно малого струму, характерного для TTL логіки. Ще одним приладом, що керується за допомогою реле є модуль Пельтьє, який потребує досить великих значень струму.

Модуль вентилятора керується з використанням МОП транзистора. Це зроблено з двох причин: по-перше, для невисокого рівня напруги, що притаманний даному приладу, можна зекономити на реле, а по-друге, що більш важливо, мікроконтролер повинен мати змогу керувати потужністю роботи цього приладу, тобто керувати швидкістю обертів вентилятора. Оскільки система не передбачає наявності потужних ЦАП, задоволення такої потреби забезпечується генеруванням на виводах мікроконтролера PWM сигналу, який подається на керуючий вхід транзистора. PWM сигнал може мати високу частоту перемикань, а тому звичайне електромагнітне реле абсолютно не підходить в даній ситуації: воно має досить обмежений ресурс перемикань, а також видає звук клацання контактів, що не є допустимим, враховуючи цільове місце встановлення міні-теплиці. МОП транзистор позбавлений цих недоліків, і в той же час може пропускати достатній струм для роботи вказаних пристроїв.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Комунікація з модулем зв'язку

Модуль ESP8266 підключається до мікроконтролера через два канали передачі даних – RX та TX, тобто повнодуплексним методом. Для комунікації використовується протокол послідовної передачі даних UART, в якому можливо налаштовувати формат пакетів даних та швидкість передачі. Обмін даними між контролером та ESP8266 проходить у форматі AT команд. AT команди – загальноприйнятий стандарт по керуванню приладами модемного типу. Формат AT команд – це текстовий рядок, що починається із символів AT, наприклад: AT+CNUM – команда для отримання номеру абонента. Відповіді надходять також у форматі строки символів, що починається із вказання команди, для якої ця відповідь: +CNUM: +380661234567. У таблиці 5.1 наведені AT команди, що будуть актуальні для зв'язку із веб-сервером:

Таблиця 5.1 – Деякі AT команди ESP8266[17]

AT команда	Опис
AT+CIPSTART=<type>,<remote IP>,<remote port>[,<TCP keep alive>]	Встановити TCP з'єднання з віддаленим сервером.
AT+CIPSEND=<length>	Надіслати дані вказаної довжини. Після команди модем зчитує вказану кількість символів з каналу прийому даних та відправляє на адресу, встановлену командою конфігурації.
AT+CIPCLOSEMODE=<enable_abort>	Розірвати з'єднання з віддаленим сервером.
AT+CWJAP_CUR=<ssid>,<pwd>	Вказати ім'я та пароль до безпроводної точки доступу WiFi.
AT+CIFSR	Зчитати IP адресу у локальній мережі.

5.3 Висновки до розділу

Базуючись на представленнях із функціональної схеми, було розроблено електричну принципову схему автоматизованої системи вирощування рослин. Для цього було використано конкретні компоненти, описані у розділі “Вибір окремих компонентів”. Було особливу увагу приділено питанню регулювання потужності приладу вентилявання, адже керуючий пристрій повинен мати можливість встановлювати її відповідно до проведених обчислень. В результаті отримана схема, за допомогою якої можна створювати макет та налаштовувати взаємозв’язки між окремими компонентами згідно зі схемою.

					ІТ61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

6 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ АБІОТИЧНИХ ФАКТОРІВ

Для кращого розуміння процесу регулювання температурного режиму всередині теплиці та синтезу програмного регулятора варто розробити математичну модель динаміки температури повітря, враховуючи вплив термоелемента та інші фізичні процеси.

Запишемо рівняння фізичного процесу зміни температури, що відбувається всередині міні-теплиці:

$$dQ = Pdt, \quad (6.1)$$

де P – потужність термоелектричного елементу Пельтьє.

Рівняння теплового балансу у диференціальній формі матиме вигляд:

$$dQ = dQ_{\text{теплиці}} + dQ_{\text{втрат}}, \quad (6.2)$$

де $dQ_{\text{теплиці}} = cmdT$ – це теплота, яку отримує внутрішнє середовище теплиці за проміжок часу dt ;

$dQ_{\text{втрат}} = k(T - T_{\text{сер}})dt$ – це теплота, що втрачається міні-теплицею за проміжок часу dt .

Отже, маємо:

$$Pdt = cmdT + k(T - T_{\text{сер}})dt, \quad (6.3)$$

де c – це середня питома теплоємність внутрішніх складових міні-теплиці;

m – маса внутрішніх складових міні-теплиці;

dT – зміна температури внутрішнього середовища теплиці за час dt ;

k – коефіцієнт теплообміну середовищем теплиці та навколишнім середовищем;

$T_{\text{сер}}$ – температура навколишнього середовища.

Після математичних перетворень, це рівняння можна представити у наступному вигляді:

$$\frac{cm}{k} \times \frac{dT}{dt} = \frac{P}{k} - (T - T_{сер}). \quad (6.4)$$

Далі необхідно привести отримане рівняння до вигляду, зручного для отримання передавальної функції об'єкта керування за температурою, для чого введено наступні позначення:

$u = P$ – керуючий вплив на вході системи;

$y = T - T_{сер}$ – вихідний сигнал системи;

$k_{підс} = \frac{1}{k}$ – коефіцієнт підсилення;

$\tau_p = \frac{cm}{k}$ – стала часу.

Підставивши позначення у рівняння (6.4), отримано наступне:

$$\begin{aligned} \frac{cm}{k} \times \frac{dy}{dt} &= \frac{u}{k} - y; \\ \tau_p \frac{dy}{dt} &= k_{підс} - y; \\ \tau_p \dot{y} + y &= k_{підс} u. \\ P dt &= cm dT + k(T - T_{сер}) dt, \end{aligned} \quad (6.5)$$

Використовуючи перетворення Лапласа, запишемо рівняння у наступній формі, та виконаємо математичні перетворення:

$$\begin{aligned} \tau_p s Y(s) + Y(s) &= k_{підс} U(s); \\ Y(s)(\tau_p s + 1) &= k_{підс} U(s); \\ \frac{Y(s)}{U(s)} &= \frac{k_{підс}}{(\tau_p s + 1)} = W(s). \end{aligned} \quad (6.6)$$

Отже, отримано передавальну функцію $W(s)$. Наступним кроком потрібно підставити усі відомі величини і розрахувати конкретні значення.

Маса внутрішніх складових міні-теплиці складається з маси повітря, самої рослини та землі:

$$\begin{aligned} V_{\text{тепл}} &= 0,4 \times 0,5 \times 0,8 = 0,16 \text{ (м}^3\text{)}, \\ m_{\text{зем}} &= V_{\text{зем}} \rho_{\text{зем}} = 0,005 \times 1200 = 6 \text{ (кг)}, \\ m_{\text{росл}} &= V_{\text{росл}} \rho_{\text{росл}} = 0,002 \times 800 = 1,6 \text{ (кг)}, \\ m_{\text{пов}} &= (V_{\text{тепл}} - V_{\text{зем}} - V_{\text{росл}}) \rho_{\text{пов}} = 0,153 \times 1,2 = 0,1836 \text{ (кг)}. \end{aligned}$$

Покладено, що рослини на 80 % складаються з води, тому теплоємність рослини на 20 % менша від теплоємності води. Для землі використаємо середнє значення між показниками сухої та вологої землі[19]: 1,92 кДж.(кг*К). Також з [19] візьмемо й теплоємність повітря. В результаті маємо:

$$c_{\text{росл}} = 3,36 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}, \quad c_{\text{зем}} = 1,92 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}, \quad c_{\text{пов}} = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}.$$

Тепер можливо розрахувати сталу часу:

$$\tau_p = \frac{cm}{k} = \frac{(c_{\text{росл}} m_{\text{росл}} + c_{\text{зем}} m_{\text{зем}} + c_{\text{пов}} m_{\text{пов}})}{k} = \frac{17079,6}{k}$$

Беручи коефіцієнт теплообміну $k = 1 \frac{\text{Вт}}{\text{оС}}$, як характерний для такого типу систем, отримуємо $\tau_p = 17079,6$, а коефіцієнт підсилення $k_{\text{підс}} = 1$. Отже, передаточна функція в остаточному варіанті:

$$W(s) = \frac{1}{17079s + 1}. \quad (6.7)$$

					ІТ61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи середовище MATLAB, було виконано моделювання об'єкта керування на базі розрахованої передавальної функції, та синтезованого регулятора температури (рисунк 6.1).

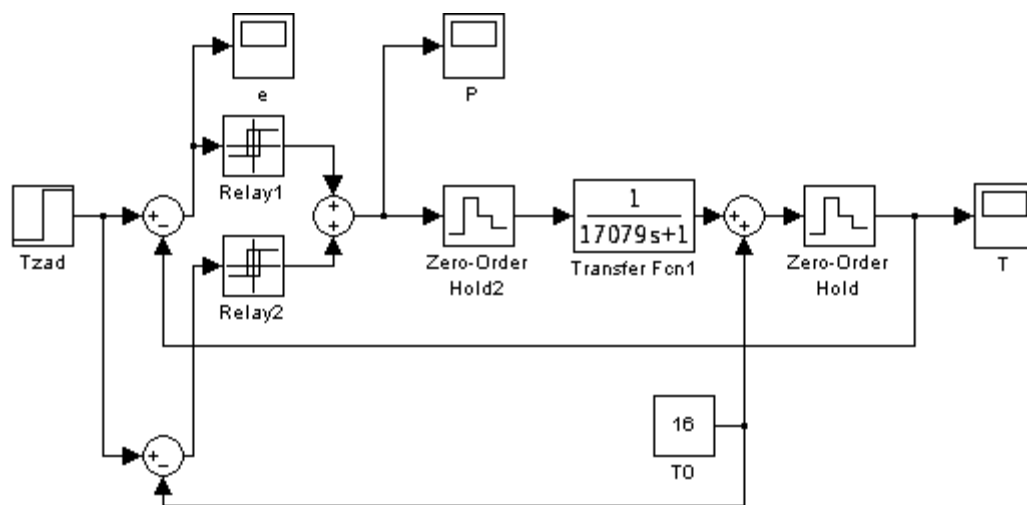


Рисунок 6.1 – Схема моделі керування температурою міні-теплиці

Оскільки температура повинна регулюватися в обох напрямках, було використано трипозиційний регулятор на базі двох реле. Перевага такого методу в простоті реалізації, а можливий недолік – постійне вмикання/вимикання двопозиційного реле. Проте це вирішується встановленням достатнього гістерезису, що є можливим у рамках розроблюваної системи.

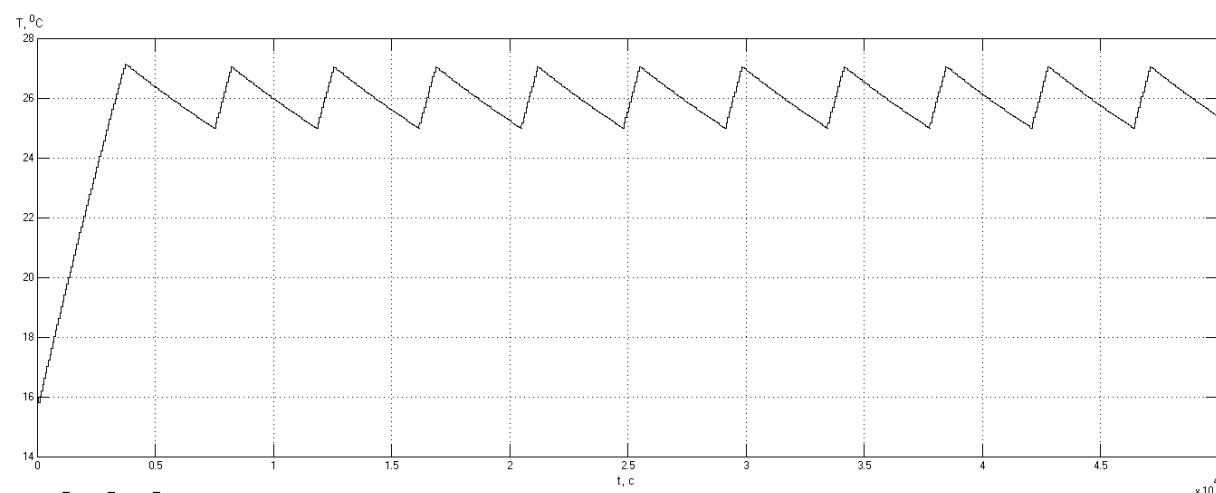


Рисунок 6.2 – Графік процесу підтримування температури при температурі середовища нижче заданої

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Наприклад, на рисунку 6.2 показано процес підтримування температури повітря всередині теплиці у межах 25 – 27 °С при початковій температурі середовища 16 °С. Як видно з рисунка, нагрівання виконується за відносно короткий проміжок часу, після чого регулятор вимикається й чекає, доки температура знову не опуститься нижче припустимого рівня.

З іншого боку, якщо температура середовища вища за заданий інтервал, маємо симетричний графік процесу (рисунк 6.3).

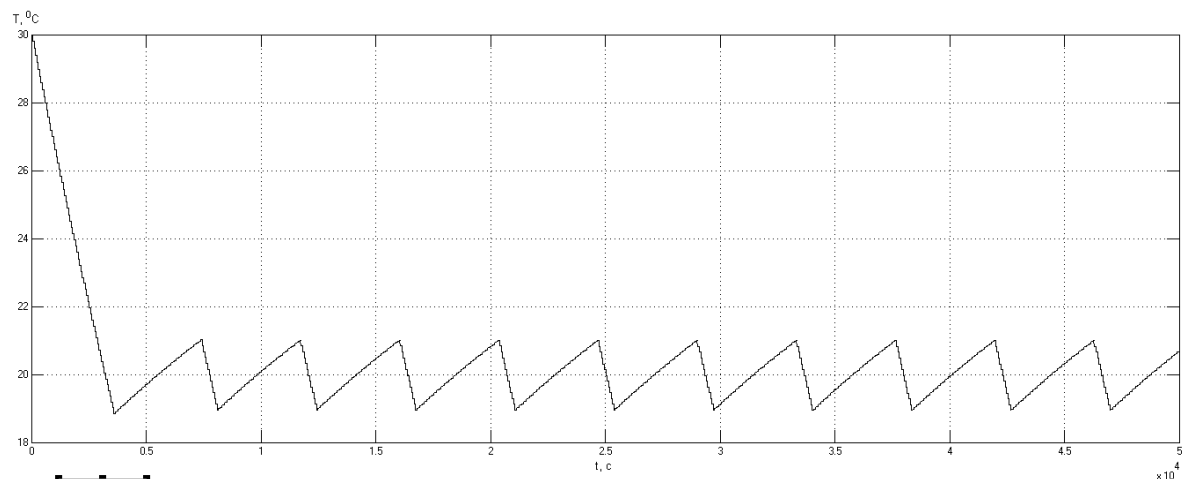


Рисунок 6.3 – Графік процесу підтримування температури при температурі середовища вище заданої

Знову ж таки видно, що дія виконавчого терморегулюючого приладу (елемент Пельтьє) спостерігається до тих пір, поки не буде досягнуто граничне значення, після чого регулятор вимикає керуючий сигнал.

Перетворення в дискретну форму виконано із періодом квантування 60 секунд з умов теорем Котельнікова та забезпечення стійкості.

6.1 Висновки до розділу

У розділі було розроблено математичну модель динаміки температурного режиму всередині міні-теплиці та продемонстровано, як відбуваються процеси регулювання температури повітря з використання елемента Пельтьє.

7 РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА АЛГОРИТМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ

7.1 Архітектура програмного забезпечення мікроконтролера

Для розробки програмного забезпечення, або ж прошивки, мікроконтролера, потрібно для початку спроектувати архітектуру програмного рішення. Для початку можна відштовхнутися від задач, що поставлені перед даним компонентом розроблюваної системи. Із функціональної схеми стає зрозуміло, що підсистема логіки мікроконтролера працює у два напрямки: перший складається із взаємодії з сервером та обробки повідомлень, що надходять від нього, а другий – це безпосередньо керування усіма датчиками та виконавчими приладами для забезпечення підтримання потрібних показників абіотичних факторів. Отже, оскільки логічно задачі мікроконтролера можна розбити на два незалежні підпроцеси, то можна звернутися до багатопоточної архітектури.

Обраний мікроконтролер не володіє значними ресурсами пам'яті та обчислень, тож для потоків можна застосувати операційну систему реального часу (ОСРЧ). Таке рішення досить часто зустрічається у проєктах, які вже мають широкий спектр задач, проте реалізовані на відносно простих та дешевих компонентах. Для розроблюваної системи можна використати операційну систему FreeRTOS[18]. Ця ОСРЧ з відкритим сирцевим кодом вже досить довго розвивається завдяки компаніям-виробникам чіпів, а також великої підтримки спільноти. Призначена спеціально для мікроконтролерів та малопотужних мікропроцесорів. Значна перевага FreeRTOS у тому, що вона портована на досить велику кількість існуючих платформ, а отже, теоретично, можна з легкістю змінити мікроконтролер без потреби в переписуванні існуючих викликів інтерфейсу. Також варто відзначити, що дана ОСРЧ поширюється на умовах MIT ліцензії, що означає що її код можна змінювати будь-яким чином і використовувати у комерційних проєктах без комісійних відрахувань.

Отже, розроблювана архітектура буде базуватися на ОСРЧ. Для двох визначених вище задач буде створено 2 потоки для незалежного їх виконання.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7.2 Модель взаємодії між веб-сервером та блоком зв'язку

Розроблювана система має зв'язуватися із веб-сервером знаходячись у локальній мережі, тобто за допомогою точки доступу WiFi. Отже, перш за все треба визначити, яким чином сервер може ініціювати з'єднання для відправки даних на мікроконтролер системи. Проблема постає у тому, що блок зв'язку не має можливості володіти унікальною IP адресою, за якою веб-сервер міг би звертатися із запитом. Можливими рішеннями[20] є: отримання статичної IP адреси та налаштування переадресування портів на роутері користувача, таким чином щоб веб-сервер мав змогу відправляти дані на задану адресу із зазначенням порту; використовувати DDNS сервер, куди блок зв'язку має регулярно відсилати дані про свою поточну IP адресу, а веб-сервер, маючи доступ до цього ж DDNS серверу, має можливість дізнатися і адресу мікроконтролера. Проте ці способи мають значні недоліки і не підходять для розроблюваної системи. Тому вирішено піти третім способом, а саме – використовувати веб-сервер як сервер-посередник між користувацьким додатком та системою вирощування рослин. Цей спосіб потребує періодичного звернення усіх зацікавлених клієнтів до сервера, що виступає у ролі арбітра. Кожний раз, коли клієнт надсилає періодичний запит, сервер отримує змогу відповісти на запит із вказанням додаткової інформації, наприклад, про наявність повідомлень, що призначені джерелу запиту. Саме цей спосіб і обраний для даної системи.

7.3 Опис алгоритмів роботи потоків

На схемі IT61.100БАК.005 ДЗ продемонстровано блок-схеми алгоритмів роботи потоків операційної системи реального часу.

Перший потік відповідає за періодичну комунікацію із веб-сервером. Після певної затримки блок зв'язку надсилає запит до веб-серверу, щоб отримати дані про нові запити від користувача. Якщо у відповіді вказується, що повідомлень немає, то потік знову входить в режим очікування. Інакше, підсистема логіки

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролера аналізує дані, що надійшли у повідомленні, і в залежності від типу повідомлення виконує відповідні дії. Можливі варіанти наступні:

- повідомлення на запис конфігурації: користувач виставив нову конфігурацію, тому вона зберігається у оперативну та енергонезалежну пам'ять, після чого потік виконання конфігурації готовий буде прийняти її в роботу;
- повідомлення на читання статистичних даних являє собою запит даних про показники абіотичних факторів за певний період. Показники зчитуються з енергонезалежної пам'яті та відправляються у відповіді;
- повідомлення на читання останніх показань: користувач відіслав запит на отримання поточних показань абіотичних факторів, зчитані дані повертаються у відповіді.

Як видно зі схеми, між двома потоками існують спільні ресурси – це енергонезалежна пам'ять та область оперативної пам'яті із конкурентним доступом. В останній зберігаються останні показники абіотичних факторів та поточна конфігурація. Копія поточної конфігурації міститься також в енергонезалежній пам'яті, щоб у випадку раптового відключення живлення система не втратила конфігураційні дані.

Алгоритм роботи потоку, що забезпечує виконання заданої конфігурації містить у собі керуючий контур: спочатку зчитуються показання датчиків, а після цього для кожного абіотичного фактору розраховується необхідний керуючий вплив, що встановлюється в цьому ж потоці. Розроблювана система не повинна мати визначні часові характеристики реагування на зміни факторів, оскільки дія виконавчих приладів має досить інертний характер. Перед новим циклом регулювання виконується затримка для врахування сказаного вище.

Також з алгоритму видно, що кожний раз нові показання записуються як в оперативну, так і в енергонезалежну пам'ять, проте це має різне призначення. Показання у енергонезалежній пам'яті потрібні для того, щоб запит користувача завжди міг бути оброблений практично миттєво, без необхідності зчитування показань. Це обмеження випливає з того факту, що деякі вимірювальні прилади можуть потребувати суттєвий час для здійснення вимірів. Запис у енергонезалежну

пам'ять здійснюється з метою збереження даних показників абіотичних факторів за певний проміжок часу, щоб надати можливість користувачу отримати їх і використовувати для подальшого аналізу.

Отримання актуальної конфігурації забезпечується тим, вона зчитується зі спільного ресурсу перед кожним циклом регулювання, а отже після встановлення нової конфігурації користувачем система оперативно зреагує на це.

7.4 Функціонал, що надається кінцевому користувачу

У попередніх підрозділах було розглянуто роботу системи з точки зору самої системи. Проте доцільним також буде виокремити найбільш важливу частину – функціонал, що отримує кінцевий користувач, та розкрити механізм його взаємодії із системою.

На рисунку 7.1 наведено діаграму використання розроблюваної системи з точки зору користувача.



Рисунок 7.1 – UML діаграма варіантів використання системи

Як видно з рисунка, користувач має п'ять ключових функціональних можливостей. Варто звернути увагу на наступні особливості такої архітектури:

- міні-теплиця надсилає поточні показання абіотичних факторів кожний раз у періодичному запиті про наявність нових повідомлень (див. попередній розділ). Таким чином, навіть якщо теплиця за якихось причин втратить доступ до інтернету, користувач зможе отримати показники на момент останнього запиту;
- надсилання сповіщень користувачу насправді ініціюється веб-сервером, що отримав повідомлення від теплиці, хоча з логічної точки зору це є саме варіантом використання, можливого для користувача;
- загальні налаштування не стосуються регулювання абіотичних факторів, а більше налаштовують роботу міні-теплиці, наприклад – вимкнення звукового сповіщення;
- існуючий профіль не можна редагувати, його можна лише перезаписати.

Варто зазначити, що продемонстровані варіанти використання не є повним набором функцій, що доступні користувачу через інтерфейс взаємодії, що в даному випадку є мобільним застосунком, а лише підмножина опцій, що стосуються функціоналу, який надає міні-теплиця за допомогою веб-сервера у ролі арбітра.

7.5 Взаємодія між користувачем та міні-теплицею

7.5.1 Механізм взаємодії

Отже, було, з'ясовано що саме може робити користувач. Тепер, маючи визначену модель взаємодії із веб-сервером та опис роботи потоку, що відповідає за зв'язок із ним, а також варіанти використання системи, можна згрупувати ці дані і приділити увагу механізму обміну запитів між користувачем та міні-теплицею.

На рисунку 7.2 продемонстровано механізм взаємодії між користувачем та міні-теплицею. Діаграма послідовності дозволяє зрозуміти саме порядок виконання певних запитів. Як видно з рисунка, дії користувача у мобільному застосунку ініціюють запити до веб-сервера, який у свою чергу повідомляє про

					ІТ61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

прийняття запиту. Потім, запит потрібно передати міні-теплиці, яка в той же час виконує періодичні запити на отримання нових повідомлень до веб-серверу (дивись підрозділи 7.2 та 7.3), а отже далі існують два можливі варіанти: якщо повідомлень немає, міні-теплиця дізнається про це у відповіді та чекає наступного моменту періодичного запиту; якщо ж відповідь від веб-сервера містить повідомлення, тоді воно обробляється, при цьому ініціюються відповідні операції запису чи читання (дивись підрозділ 7.3). Після цього міні-теплиця сповіщає веб-сервер про завершення обробки повідомлення, та у разі потреби долучає у відповідь запитувані дані.

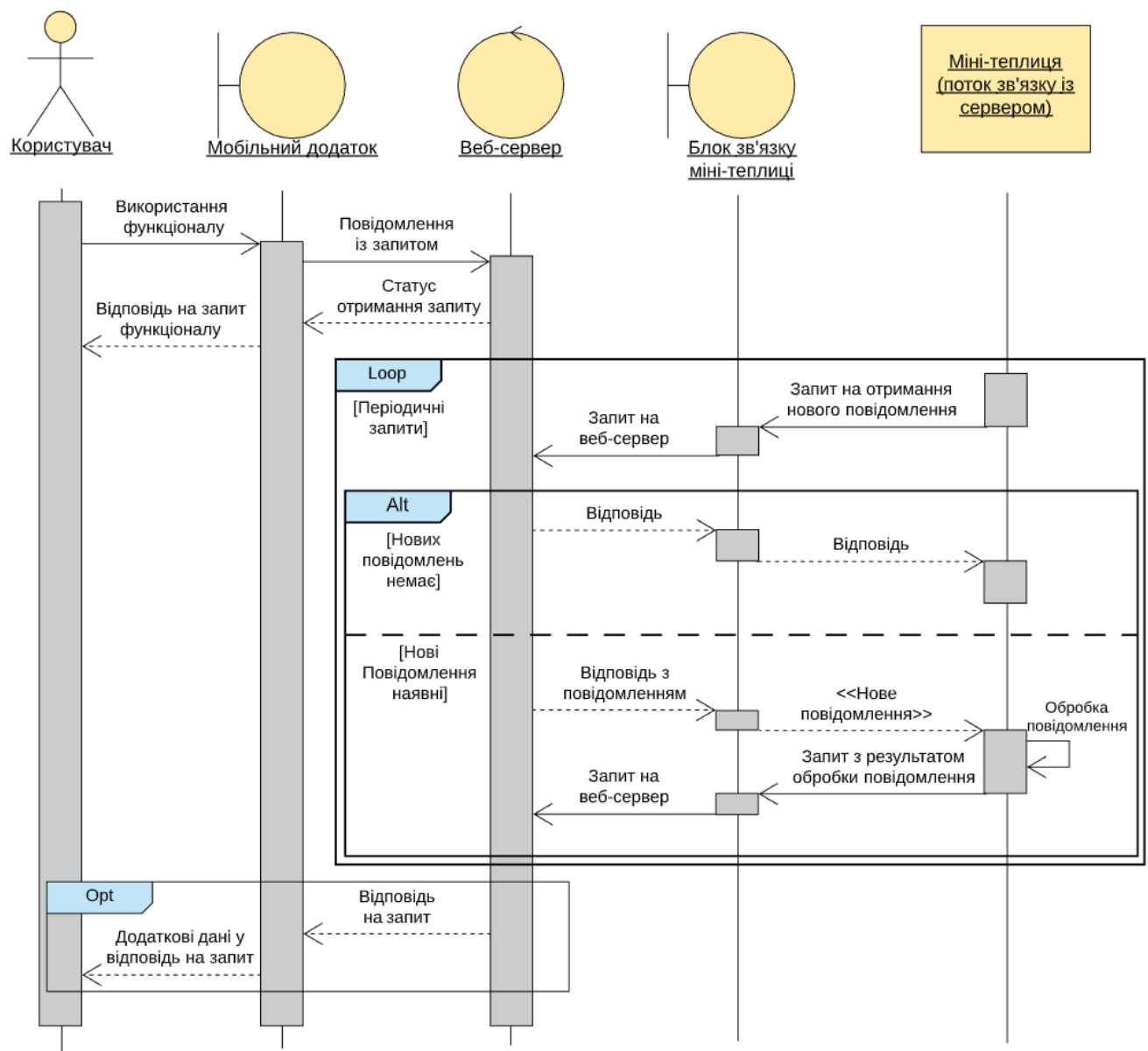


Рисунок 7.2 – UML діаграма послідовності взаємодії користувача та міні-теплиці

Ще одним моментом, на якому варто наголосити, це наявність опціонального повернення додаткових даних веб-сервером. Це стосується тих випадків, коли користувач бажає зчитати певні показання чи налаштування з теплиці, але вони ще надійшли на веб-сервер, що призводить до невеликої затримки. Для операцій запису такого не передбачено.

Отже, за основу взаємодії між застосунком та міні-теплицею взято повідомлення. Далі варто розглянути їх можливі типи та структури.

7.5.2 Типи та структури повідомлень

Серед пристроїв типу IoT, яким в певній мірі є розроблювана міні-теплиця, індустрія ще не визначила єдиний стандарт для формату даних, якими обмінюється пристрій з сервером. Існує чимало протоколів передачі даних, що не містять надлишкової інформації і є урізаними версіями деяких широко відомих протоколів, наприклад MQTT схожий на дуже легковаговий HTTP. Проте формат самих даних і до сих пір є невизначеним, а тому кожен виробник реалізує свій власний.

Для економії і до того невеликого обсягу оперативної пам'яті, в даній реалізації дані будуть мати бінарний формат. В намаганнях притримуватися певних стандартів кодування даних, було обрано TLV (Type-Length-Value)[21] формат, що схематично показаний на рисунку 7.3.

Байт №	1	2	4+
Поле	Тип	Розмір	Значення

Рисунок 7.3 – Схема формату TLV

Коротко про поля цього формату:

– «Тип»: визначає тип всього повідомлення, дозволяє обробнику повідомлення зрозуміти приналежність до певної підсистеми, іноді інформація про версію. Розмір поля – один байт;

- «Розмір»: кількість байтів даних у полі «Значення». Розмір цього поля – два байти;
- «Значення»: будь-які бінарні дані, формат яких завчасно відомий обробнику.

Отже, використовуючи таку досить просту схему кодування даних, можна досягти незалежності від протоколу передачі даних, що використовується.

Тепер необхідно виділити усі можливі типи повідомлень, що має генерувати та обробляти розроблювана система, а також розробити структуру бінарних даних для кожного типу. Взявши за основу варіанти використання (рисунки 7.1), а також враховуючи ключові та додаткові вимоги до системи (дивись розділ 2), було спроектовано структури для різних типів повідомлень, що наведені у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Типи та структури повідомлень для обміну даних із системою

Тип повідомлення	Поле	Розмір поля, біт	Кількість однотипних полів	Одиниця виміру	Загальний розмір типу, біт
	Бітова маска подій	32	1	-	
	Варіативне значення	64	1	-	
Загальні налаштування	Бітова маска налаштувань	32	1	-	32
	Вологість внутрішня	8	1	%	
	Вологість зовнішня	8	1	%	
	Вологість ґрунту	8	1	%	
	Температура внутрішня	8	1	°C	
	Температура зовнішня	8	1	°C	

Тип повідомлення	Поле	Розмір поля, біт	Кількість однотипних	Одиниця виміру	Загальний розмір типу, біт
	Дата та час останнього поливу	64	1	Unix timestamp	
	Дата та час останнього удобрювання	64	1	Unix timestamp	
	Потужність роботи вентилятора	8	1	%	
	Стан елемента Пельтьє	2	1	-	
	Наявність води у баку	1	1	-	
	Наявність розчину у баку	1	1	-	
	Стан освітлення	2	1	-	
	Дата та час взяття показань	64	1	Unix timestamp	
Статистичні дані за період	<Поточні показання>	72	до 100	-	25600
	Конфігурація параметра k	-	10	-	
	День початку дії конфігурації параметра k	-	10	-	
	
	Конфігурація параметра k+N	-	10	-	
	День початку дії конфігурації параметра k+N	-	10	-	

Доцільним буде зазначити декілька зауважень до таблиці та її значень:

- деякі поля є бітовими масками. Це структура даних, що є цілочисельним значенням, кожний біт або група бітів якого відповідають за певну опцію;
- час Unix – система опису моменту часу з використанням кількості секунд, що пройшли з початку епохи (01.01.1970 00:00 UTC+0)[22];
- повідомлення про встановлення профілю складається з конфігурацій певних параметрів та дня, коли ця конфігурація повинна бути активована;
- статистичні дані за період – це масив структур, зазначених у полях повідомлення про поточні показання;
- N – це кількість конфігураційних параметрів.

Далі, не можна обійти стороною згадані у таблиці «конфігурації параметрів»: це структури даних, що є специфічними для кожного параметру. Параметром конфігурації може бути як певний абіотичний фактор, для якого користувач встановлює значення або бажаний діапазон значень, так і безпосереднє налаштування роботи деякого виконавчого приладу. У розроблюваній системі параметри конфігурації визначені наступні:

- а) довжина світлового дня для кожної лампи;
- б) вологість ґрунту. Має пріоритет над параметрами поливу;
- в) параметри поливу звичайною водою;
- г) параметри поливу добривом;
- г) вологість повітря;
- д) температура повітря.

Отже, пункти а), в), г) є безпосередньою конфігурацією приладів, а б), г) та д) – задають бажані параметри абіотичних факторів. Детальне представлення конфігураційних параметрів та їх структури наведено у наступній таблиці 7.2.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.2 – Структура конфігураційних параметрів профілю

Тип структури	Поле	Розмір поля, біт	Кількість однотипних полів	Одиниця виміру	Загальний розмір типу, біт
	Час початку освітлення лампою	32	2	Секунди	
	Час закінчення освітлення лампою	32	2	Секунди	
	Допустима вологість ґрунту, значення від	8	3	%	
	Допустима вологість ґрунту, значення до	8	3	%	
	Час початку підтримування вказаної вологості ґрунту	32	3	Секунди	
	Час початку поливу	32	10	Секунди	
	Об'єм рідини	16	10	мл	
	Час початку поливу	32	5	Секунди	
	Об'єм рідини	16	5	мл	
	Допустима вологість повітря, значення від	8	3	%	
	Допустима вологість повітря, значення до	8	3	%	

Тип структури	Поле	Розмір поля, біт	Кількість однотипних полів	Одиниця виміру	Загальний розмір типу, біт
	Час початку підтримування вказаної вологості повітря	32	3	Секунди	
	Допустима температура повітря, значення від	8	4	°C	
	Допустима температура повітря, значення до	8	4	°C	
	Час початку підтримування вказаної температури повітря	32	4	Секунди	

Одним із ключових моментів концепції профілю є можливість задати в ньому не просто статичні значення, що будуть постійно підтримуватися на одному й тому ж рівні, а вказати бажану динаміку зміни абіотичних факторів та роботи приладів протягом доби. У системі це визначається як локальна конфігурація динаміки, тобто та, що працює на періодах від доби до неділі. Однак, із таблиці ... видно, що кожна конфігурація може бути задана до 10 разів, і при цьому має бути вказаний день початку дії цієї конфігурації. Це означає, що профіль, окрім зазначення динаміки зміни бажаних значень абіотичних факторів впродовж доби, може також встановлювати період, протягом якого буде виконуватися певна локальна конфігурація динаміки.

Для кращого розуміння варто навести приклад. Нехай для деякої рослини найкращі умови росту та розвитку можна створити, якщо притримуватися таких змін температури: перші 14 днів температура вночі повинна бути 18 °С, вдень 21 °С, а ввечері опускатися до 19 °С. Наступні 30 днів температура вже має підтримуватися на рівні 16 °С вночі та 24 °С вдень, а весь останній час після цих 44 днів повинні бути ще інші, відмінні від визначених на перші два періоди, показники. Концепція профілю надає цей рівень гнучкості, що дозволяє створити оптимальний профіль в термінах ефективності росту для кожної рослини. Хоч зараз розробка не передбачає цього, але в подальшому можливе розгортання спеціальних користувацьких сервісів, де можливо буде завантажувати вже створені кимось профілі для конкретних рослин, або навіть оформлювати платні підписки для отримання такого роду даних.

7.6 Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено загальну архітектуру програмного забезпечення керуючого мікроконтролера. Було обрано використання ОСРЧ FreeRTOS як найбільш гнучкого та функціонального варіанту, що не накладає строгих обмежень на цільову платформу розробки. Моделлю виконання програм стали два паралельні потоки: перший відповідає за зв'язок із сервером, другий – за регулювання та підтримання абіотичних факторів відповідно до заданих налаштувань. Алгоритм роботи потоків був описаний детально та представлений на кресленику.

Також було визначено модель взаємодії із веб-сервером, яка полягає у періодичному надсиланні серверу запитів про наявність нових повідомлень. Таким чином, зникає проблема прямого доступу веб-серверу до модулю зв'язку.

Було визначено функціонал, що кінцевий користувач отримує завдяки розроблюваній системі та визначено структури основних повідомлень, які відповідають за надання цього функціоналу.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання проєкту було проведено огляд наявних комерційних рішень міні-теплиць, або ж гроубоксів, виділено ключові функціональні можливості, що пропонуються в них, і враховано у постановці розгорнутих вимог до розроблюваної системи. Аналіз рішень також дав можливість ознайомитися із вже впровадженими методами та технологіями регулювання абіотичних факторів, деякі з яких були використані у проєктуванні.

Після постановки детальних вимог, що також включали додатковий функціонал, який зміг би якісно виділити спроектовану міні-теплицю серед інших варіантів, стало можливим перейти до початку проєктування власної автоматизованої системи вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів. Послідовне розроблення спочатку структурної схеми, а далі – функціональної, дало можливість визначити, з яких логічних блоків та компонентів буде складатися архітектура, після чого було підібрано відповідні компоненти для створення макету. Далі, розробивши на основі даних з попередніх кроків схему електричну принципову, стала повністю зрозуміла логічна та фізична структура системи та зв'язки між її елементами.

В ході розробки архітектури стало видно, що для підтримування незалежності двох логічно розв'язаних задач та гнучкості в подальшій розробці, варто використати багатопоточну модель виконання. Після опису алгоритмів роботи теплиці треба було переконатися, що архітектура задовольняє поставленим раніше вимогам. Для цього функціонал міні-теплиці було розглянуто саме в контексті можливостей, що надаються кінцевому користувачу, і було підтверджено та у деталях описано, як саме система має виконувати запити.

Спроектована система є досить успішною реалізацією вимог, що були поставлені на початку, а наявність додаткових унікальних особливостей, як от концепція профілів для налаштування та конструкторські особливості, робить її в значній мірі конкурентоспроможною на ринку подібних рішень.

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматична промислова теплиця. URL: <https://teplitca.kiev.ua/p631717548-avtomaticheskaya-teplitsa.html> (дата звернення: 11.06.2020)
2. Парник Reswing URL: <https://rozetka.com.ua/78509030/p78509030/> (дата звернення: 11.06.2020)
3. Grow box – Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Grow_box (дата звернення: 11.06.2020)
4. Абіотичний фактор – Wikipedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Абіотичний_фактор (дата звернення: 11.06.2020)
5. Гроубокс стелс.Growbox днат 250 Вт. URL: <https://growboxua.com.ua/p440835951-grouboks-stelsgrowbox-dnat.html> (дата звернення: 11.06.2020)
6. Гроубокс Hydro Shoot 60. URL: http://growing.com.ua/growbox/hydro_shoot_60.html (дата звернення: 11.06.2020)
7. Контролер для гроубокса iLogix VRX-003. URL: <https://hydroponics.in.ua/tovar-controller-dlya-growboksa> (дата звернення: 11.06.2020)
8. ФИТОТРОН ЛиА-3. URL: <https://www.laserapr.ru/lazernoe-oborudovanie/fitotron-lia3> (дата звернення: 11.06.2020)
9. Greenhouse LED lighting control. URL: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/169389/local_169389.pdf (дата звернення: 11.06.2020)
10. INDOOR LIGHTING FOR TROPICAL PLANTS. URL: <https://toptropicals.com/html/toptropicals/articles/techno/lamps/lighting.htm> (дата звернення: 11.06.2020)
11. Огляд різних видів ламп. URL: <https://docplayer.ru/36030238-K-etim-lampam-pomimo-obychnyh-lamp-nakalivaniya-kotorye-vkruchivayutsya-v-lyustru-na-potolke-otnosyatsya-i-nekotorye-drugie-lampy.html> (дата звернення: 11.06.2020)

12. Лучшие лампы для гроубоксов. URL: <https://growpro.ua/articles/detail/luchshie-lampy-dlya-grouboksov/> (дата звернення: 11.06.2020)

13. Ornamental Production: Light, Temperature and Humidity. URL: <https://aggie-horticulture.tamu.edu/ornamental/a-reference-guide-to-plant-care-handling-and-merchandising/light-temperature-and-humidity/> (дата звернення: 11.06.2020)

14. The Best Humidity Level for Plants & How to Achieve It. URL: <https://greenupside.com/what-is-the-best-humidity-level-for-plants/> (дата звернення: 11.06.2020)

15. Гроубокс своими руками. URL: <https://agrodom.com/advice/grouboks-svoimi-rukami/> (дата звернення: 11.06.2020)

16. Діаграма виводів плати розробки STM32F103C8T6. URL: <http://reblog.dk/wordpress/wp-content/uploads/2016/07/The-Generic-STM32F103-Pinout-Diagram.pdf> (дата звернення: 11.06.2020)

17. ESP8266 AT instruction set. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/4a-esp8266_at_instruction_set_en.pdf (дата звернення: 11.06.2020)

18. Офіційний сайт FreeRTOS. URL: <https://www.freertos.org/RTOS.html> (дата звернення: 11.06.2020)

19. Удельные теплоемкости твердых веществ, жидкостей и газов. URL: <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsHeatAndTemperature/SpecificHeat/SpecificHeatTable/> (дата звернення: 11.06.2020)

20. ESP8266 – Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP8266> (дата звернення: 11.06.2020)

21. TLV format – Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Type-length-value#:~:text=Within%20data%20communication%20protocols%2C%20TLV,Type> (дата звернення: 11.06.2020)

22. Час Unix – Wikipedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81_Unix (дата звернення: 11.06.2020)

					IT61.100БАК.004 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		